



نشریه مهندسی عمران فردوسی

فصلنامه علمی

شماره پیاپی ۴۷

سال ۳۷، شماره ۳
پاییز، ۱۴۰۳

- ۱ ارزیابی مکانی روند دمای سطح زمین در اقلیم‌های خراسان رضوی
با سنجنده آکوا (از سال ۲۰۰۳ الی ۲۰۲۳)
مجتبی گلدانی - حسین اعتمادفرد - علی رضایی
- ۱۳ مدل‌سازی غیر خطی دستک فشاری و کششی برای اتصالات
بهسازی شده به روش بزرگ کردن ناحیه اتصال و پیش‌تنیدگی
سید احمد نظامی - جلیل شفائی
- ۴۱ طراحی مدل سیاست‌گذاری خدمات شهری شهرداری با
رویکرد کیفی-کمی
مرتضی شریفی - حسن امیری - محمود مدیری - فرزانه بیگ زاده
- ۶۱ تأثیر روش استفاده از کیک کرنانه ضایعاتی بر روی مقاومت
فشاری و کششی بتن سبز
زهره حیدری - رسول شادنیا - داود مستوفی نژاد - شادزی رضایی
- ۷۷ ارائه مدلی جهت ارزیابی ویژگی‌های کالبد کاربری‌ها و شبکه
حمل و نقل در ساختار شهری متراکم با تأکید بر توسعه حمل و نقل
پایدار (مطالعه موردی شهر آمل)
رضوان باباگلی - مرتضی محمدزاده - محسن عموزاده عمرانی
- ۹۳ تعیین موقعیت بهینه کابل‌ها در دکل‌های مهاري با استفاده از
الگوریتم‌های فراابتکاری
هوشیار ایمانی کله سر - امیررضا اسمعیلی اقدام

سر دبیر: محمدرضا اصفهانی

مدیر مسئول: فریدون ایرانی

صاحب امتیاز: دانشگاه فردوسی مشهد

هیئت تحریریه:

دکتر محمدرضا اصفهانی	استاد، دانشگاه فردوسی مشهد، گروه مهندسی عمران
دکتر کاظم بدو	استاد، دانشگاه ارومیه، دانشکده مهندسی
دکتر جعفر بلوری بزاز	دانشیار، دانشگاه فردوسی مشهد، گروه مهندسی عمران
دکتر احمد پویا	استاد، Ecole des Ponts Paris tech
دکتر سید حسین محمدزاده	استاد، دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده علوم پایه
دکتر سیداحسان سیدی حسینی نیا	دانشیار، دانشگاه فردوسی مشهد، گروه مهندسی عمران
دکتر غلامرضا رخشنده رو	استاد، دانشگاه شیراز، دانشکده راه و ساختمان
دکتر محمدحسین سبط	استاد، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، دانشکده مهندسی عمران
دکتر فرزاد شهابیان مقدم	استاد، دانشگاه فردوسی مشهد، گروه مهندسی عمران
دکتر امیر کاووسی	استاد، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده مهندسی، گروه راه و ترابری
دکتر سید محسن کرابی	دانشیار، دانشگاه فردوسی مشهد، گروه عمران
دکتر حسین گنجی دوست	استاد، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده مهندسی، گروه راه و ترابری
دکتر محمود فغفور مغربی	استاد، دانشگاه فردوسی مشهد، گروه مهندسی عمران
دکتر مجتبی مغربی	دانشیار، دانشگاه فردوسی مشهد، گروه مهندسی عمران
دکتر فریدون مقدس نژاد	استاد، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، دانشکده مهندسی عمران
دکتر ابوالفضل محمدزاده مقدم	دانشیار، دانشگاه فردوسی مشهد، گروه مهندسی عمران
دکتر محمدرضا کیانوش	استاد، University of Ryerson

مسئول دفتر نشریه: تکتّم هوشمند

ویراستار ادبی: الهام دهقان

ویرایش و صفحه آرایی: سیده عاطفه نوعی باغبان- تکتّم هوشمند

<http://www.srlst.com>

این نشریه در کتابخانه منطقه‌ای علوم و تکنولوژی شیراز (ISC) نمایه می‌شود.

نشانی: مشهد- دفتر نشریه - دانشکده مهندسی - دانشگاه فردوسی مشهد - صندوق پستی: ۹۱۷۷۵-۱۱۱۱

وب سایت: <http://civil-ferdowsi.um.ac.ir> پست الکترونیکی: civil-ferdowsi@um.ac.ir شماره تلفن: ۰۵۱۳۸۸۰۶۰۲۴

چاپ: چاپخانه دانشگاه فردوسی مشهد

فهرست مطالب

- ۱ ارزیابی مکانی روند دمای سطح زمین در اقلیم‌های خراسان رضوی با سنجنده آکوا
(از سال ۲۰۰۳ الی ۲۰۲۳)
مجتبی گلدانی - حسین اعتمادفرد - علی رضایی
- ۱۳ مدل سازی غیر خطی دستک فشاری و کششی برای اتصالات بهسازی شده به روش بزرگ کردن ناحیه
اتصال و پیش تنیدگی
سید احمد نظامی - جلیل شفائی
- ۴۱ طراحی مدل سیاست گذاری خدمات شهری شهرداری با رویکرد کیفی-کمی
مرتضی شریفی - حسن امیری - محمود مدیری - فرزانه بیگ زاده
- ۶۱ تأثیر روش استفاده از کیک کربناته ضایعاتی بر روی مقاومت فشاری و کششی بتن سبز
زهرا حیدری - رسول شادنیا - داود مستوفی نژاد - شادزی رضایی
- ۷۷ ارائه مدلی جهت ارزیابی ویژگی‌های کالبد کاربری‌ها و شبکه حمل و نقل در ساختار شهری متراکم با
تأکید بر توسعه حمل و نقل پایدار (مطالعه موردی شهر آمل)
رضوان باباگلی - مرتضی محمدزاده - محسن عموزاده عمرانی
- ۹۳ تعیین موقعیت بهینه کابل‌ها در دکل‌های مهاری با استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری
هوشیار ایمانی کله سر - امیررضا اسمعیلی اقدام

Spatial Assessment of Land Surface Temperature Trends in Different Climates of Khorasan Razavi Province Using Aqua Satellite Imagery (From 2003 to 2023)

Research Article

Mojtaba Goldani¹, Hossein Etemadfar² , Ali Rezaei³DOI: [10.22067/jfcei.2024.88361.1302](https://doi.org/10.22067/jfcei.2024.88361.1302)

1-Introduction

Increased fossil fuel consumption has led to global warming, resulting in a rise in Earth's surface temperature in recent decades. This warming has imposed significant impacts on various aspects of life, including the melting of polar ice caps, rising sea levels, and widespread climate change that has altered precipitation patterns. Policymakers are faced with ongoing challenges in addressing these issues, which necessitates continuous monitoring and study of the climatic and ecological effects in order to make effective decisions. The measurement of Land Surface Temperature (LST) plays a crucial role in understanding these changes. Various studies have utilized meteorological station data, satellite imagery, and remote sensing to analyze trends in LST. These research endeavors have highlighted the impact of urban expansion on surface temperatures and have examined the spatial and temporal variations in LST across different regions. In addition, some factors, such as solar radiation absorption contribute to temperature differences between day and night. However, despite these advancements, further investigation is needed to understand the effects of surface temperature changes on different climates, particularly in local microclimates, such as in Khorasan Razavi Province, Iran. This study aimed to address this research gap by analyzing spatial and temporal changes in LST during 2003-2023 using satellite data from the Aqua sensor.

2- Materials and Methods

This research utilizes data from the Aqua sensor of the MODIS mission, which provides images at different spatial resolutions: 2 bands at 250-meter resolution, 5 bands at 500-meter resolution, and 29 bands at 1000-meter resolution. The LST index is collected from the Aqua sensor's product MOD11A1/061, which spans a period of 20 years from 2003 to 2023. This product offers a spatial resolution of 1000 meters and provides daily temporal resolution for both daytime and nighttime. To analyze the

data, weekly average images with a spatial resolution of 5 km were extracted within Khorasan Razavi province (Figure 1) using Google Earth Engine. MATLAB software was employed for time series trend analysis by linear regression. The linear regression model was $LST_t = a + bt$, where LST_t represents the LST value at time t , a denotes the y-intercept indicating the estimated LST value at time zero ($t=0$), and b indicates the slope representing the change in LST per unit time interval.

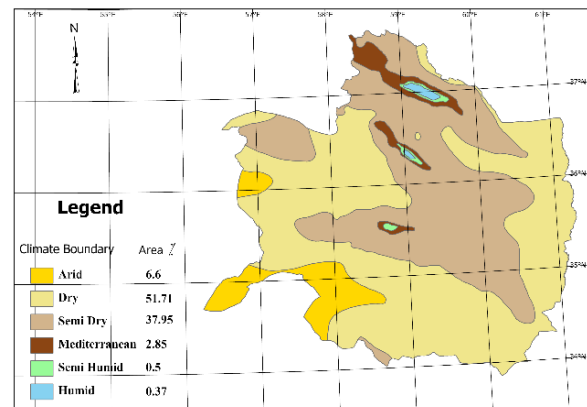


Figure 1. Different climates in Khorasan Razavi Province

3- Results and Discussion

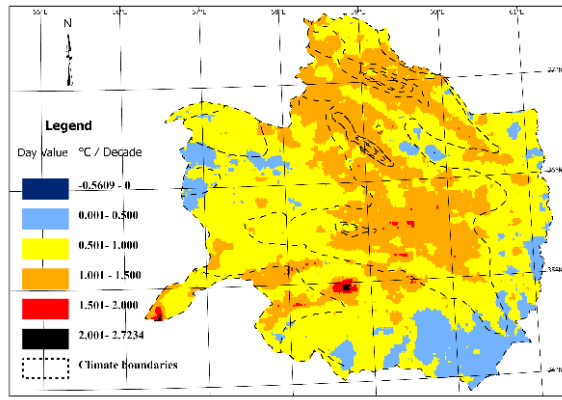
The analysis of daily temperature trends revealed a notable overall increase in most regions of the province. As shown in Figure 2 (a), in the arid and semi-arid climates, which cover a significant portion of the area, about 99.34% and 99.86% of data points demonstrate an upward trend, respectively. In contrast, the dry climate, which is the largest in terms of coverage, exhibits the highest number of data points indicating a decrease in temperature.

*Manuscript received June 3, 2024, Revised July 26, 2024, Accepted September 1, 2024.

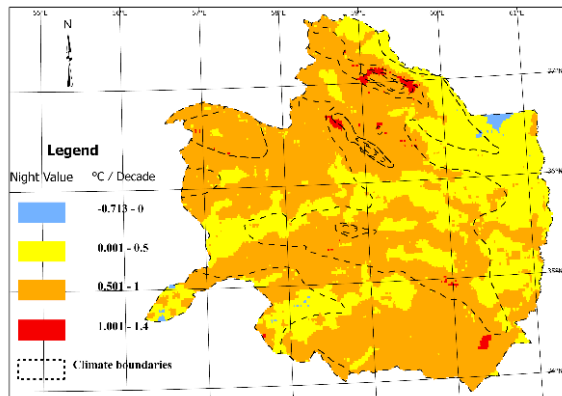
¹ Master's degree candidate in Environmental Science, Ferdowsi University of Mashhad, Department of Civil Engineering.

² Corresponding Author: Assistant Professor Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Ferdowsi University of Mashhad. **Email:** etemadfar@um.ac.ir

³ Master's degree candidate in Water Resources Management, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad.



(a)



(b)

Figure 2. Trend of LST per decade in the study area; (a) daytime trend; (b) nighttime trend

These points, mainly located in the southeastern part of Mashhad city and attributed to agricultural activities, experienced an average decrease of $-0.17^{\circ}\text{C}/\text{decade}$, with the lowest recorded temperature being $-0.64^{\circ}\text{C}/\text{decade}$. Conversely, only 0.45% of the total area of the province is characterized by data points showing an increasing trend, predominantly concentrated in humid and Mediterranean climates. In these areas, the trend values are $1.25^{\circ}\text{C}/\text{decade}$ and $1.23^{\circ}\text{C}/\text{decade}$, respectively. The dry climate exhibits the lowest increasing trend value at $0.81^{\circ}\text{C}/\text{decade}$. The hottest data points in the 20-year trend are concentrated in the dry climate, specifically in Bejestan city, where a decline in vegetation has been observed during this period. When analyzing night-time patterns [Figure 2 (b)], it becomes apparent that Khorasan Razavi Province underwent a significant surge in surface temperature during the designated study period. In regions characterized by humid, semi-humid, and Mediterranean climates, all areas exhibited an upward trend, with average temperature increases ranging from 0.8 to 0.9 degrees Celsius per decade. Conversely, in arid, semi-arid, and ultra-arid climates, approximately 96% of the province witnessed a decline in trends, with the ultra-arid climate experiencing the most substantial average reduction ($-0.22^{\circ}\text{C}/\text{decade}$). On average, the overall temperature rise across these climates was approximately 0.60 degrees Celsius. It is important to note that the semi-arid climate showed the smallest decrease in surface temperature ($-0.79^{\circ}\text{C}/\text{decade}$) and the highest increase ($1.38^{\circ}\text{C}/\text{decade}$).

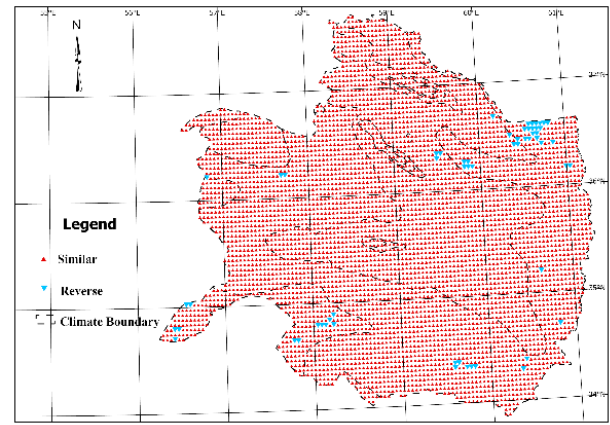


Figure 3. Trend direction in different climates

Figure 3 highlights the distribution of diminishing trends in the northeast, particularly in the Khangiran region, which contrasts with the day-time trends observed in vegetated areas. Similarly, the southwest regions, with a lack of vegetation, also displayed a decrease in night-time temperatures. Conversely, the results demonstrated the most significant increases in night-time surface temperature in limited areas of dry and semi-dry climates in the south, as well as in other regions with Mediterranean and semi-dry climates in the northern part of Razavi Khorasan.

4- Conclusion

The findings of this study demonstrated the considerable effects of land cover changes, particularly in agricultural regions, on daytime temperatures, resulting in discernible cooling effects. Nevertheless, agricultural land use has minimal influence on night-time temperatures. Furthermore, local climates do not appear to have a significant impact on LSTs, irrespective of land cover type and changes. These changes occur gradually and can be effectively managed through appropriate measures. Consequently, it is recommended that future research concentrate on the effects of land use on surface temperature changes and implementing suitable strategies to proactively mitigate adverse climate-related consequences.



ارزیابی مکانی روند دمای سطح زمین در اقلیم‌های خراسان رضوی با سنجنده آکوا (از سال ۲۰۰۳ الی ۲۰۲۳)*

مقاله پژوهشی

مجتبی گلدانی^(۱) حسین اعتمادفرد^(۲) علی رضایی^(۳)

DOI: 10.22067/jfcej.2024.88361.1302

چکیده صنعتی شدن و افزایش مصرف سوخت‌های فسیلی گرمایش زمین را در پی داشته و موجب تغییر در طبیعت، اقلیم و زیست انسان شده است. مطالعه و پایش بلندمدت پارامترهای مرتبط با گرمایش زمین به خصوص دمای سطح زمین با استفاده از تکنولوژی‌هایی مانند سنجش از دور می‌تواند به درک درست و بهتر این پدیده کمک کند. انرژی خورشید در طول روز به سطح زمین رسیده و دمای آن را افزایش می‌دهد، اما در طول شب رفته‌رفته از آن خارج شده و دمای آن کاهش می‌یابد. در این تحقیق، به کمک سنجنده آکوا از مأموریت مودیس، تصاویر مربوط به شاخص LST در یک دوره ۲۰ ساله از سال ۲۰۰۳ الی ۲۰۲۳ از استان خراسان رضوی واقع در شمال شرق ایران جمع‌آوری و به‌صورت هفتگی میانگین‌گیری گردیدند. سپس به کمک رگرسیون خطی روند دمای سطح در منطقه در تمامی اقلیم‌ها محاسبه شد. نتایج نشان می‌دهد که به طور کلی شاخص LST در روز و شب افزایشی بوده، ولی در روز هنگام دمای سطح زمین افزایش بیشتری نسبت به مقدار آن در طول شب داشته است. دو اقلیم خشک و نیمه‌خشک در استان غالب هستند و میانگین افزایش دمای سطح برای آن‌ها در روز هنگام به ترتیب ۰/۸۰ و ۱/۰۷ سانتی‌گراد بر دهه و شب‌هنگام ۰/۵۵ و ۰/۵۹ سانتی‌گراد بر دهه بود. علاوه بر این، مشاهده شد ارتباط محسوسی بین اقلیم‌ها و روند دمای سطح وجود ندارد و روند LST روزهنگام در مناطقی که دارای کاربری کشاورزی هستند کاهش یافته اما روند LST شب‌هنگام ارتباطی به کاربری کشاورزی یا پوشش گیاهی نداشته است.

واژه‌های کلیدی آکوا، اقلیم، خراسان رضوی، دمای سطح زمین، مودیس.

Spatial Assessment of Land Surface Temperature Trends in Different Climates of Khorasan Razavi Province Using Aqua Satellite Imagery (From 2003 to 2023)

Mojtaba Goldani

Hossein Etemadfar

Ali Rezaei

Abstract Industrialization and the escalated consumption of fossil fuels have resulted in global warming, which has caused alterations to nature, climate, and human life. The long-term monitoring and examination of parameters associated with global warming, particularly land surface temperature (LST), using advanced technologies like remote sensing, can contribute to a more comprehensive and precise understanding of this phenomenon. Solar energy during the daytime, raising its temperature, while dissipation of energy gradually occurs during the night, leading to a decrease in temperature. Here, a collection of images related to the LST was amassed over 20 years, from 2003 to 2023, for Khorasan Razavi Province in northeastern Iran, utilizing the MODIS data. These images were averaged weekly. Subsequently, the surface temperature trend encompassing all climates in the region was determined through linear regression. The findings demonstrate a general increase in the LST index during both daytime and nighttime; however, the rise in surface temperature during the daytime exhibits a more substantial increase compared to nighttime. The province is predominantly characterized by arid and semi-arid climates, with an average rise in surface temperature during the day of 0.80°C and 1.07°C per decade, respectively, and during the night of 0.55°C and 0.59°C per decade. Moreover, it was observed that there is no significant correlation between climate and surface temperature trends. The daytime LST trend in areas with agricultural land use displays a decreasing pattern, whereas the nighttime LST trend does not seem to be influenced by agricultural land use or vegetation cover.

Keywords Aqua, Climate, Khorasan Razavi, Land Surface Temperature, MODIS.

* تاریخ دریافت مقاله ۱۴۰۳/۳/۱۴ و تاریخ پذیرش آن ۱۴۰۳/۶/۱۱ می‌باشد.

(۱) کارشناس ارشد رشته محیط زیست، گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

(۲) نویسنده مسئول: استادیار گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

(۳) کارشناس ارشد رشته مدیریت منابع آب، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

مقدمه

افزایش مصرف سوخت‌های فسیلی و در پی آن گرمایش زمین موجب شده دمای سطح زمین (Land Surface Temperature) در طی دهه‌های گذشته افزایش یابد که روی تمامی ابعاد حیات در کره زمین تأثیر داشته است [1]. از جمله نتایج گرمایش زمین، آب شدن یخچال‌های قطبی و در پی آن بالا آمدن سطح آب اقیانوس‌ها و تغییر اقلیم گسترده است که موجب شده الگوهای بارش در مناطق مختلف تغییر کند [2, 3]. سرعت وقوع این اتفاقات باعث شده است تا متولیان و برنامه‌ریزان با چالشی مستمر در سیاست‌گذاری‌های خود مواجه باشند [4] و همواره نیاز به پایش و مطالعه اثرات اقلیمی و زیستی آن برای اتخاذ تصمیمات مؤثر و مفید وجود داشته باشد. سطح زمین که یکی از عناصر اساسی در علوم زمین شناخته می‌شود تحت تأثیر عواملی از قبیل انرژی ورودی، تخلیه سطحی، رطوبت و حرکت هوای اتمسفر بوده و انرژی خالص سطح سیاره متأثر از این موارد است [5]. درک درست از انرژی سطحی در کنار محاسبه دمای سطح در بسیاری از مطالعات علوم زمین از قبیل مطالعات مربوط به گسترش شهر، مدیریت منابع آب، بلایای طبیعی و آب‌وهوا از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. دمای سطح زمین اصلی‌ترین عامل در تعیین تعادل انرژی در فرایندهای فیزیکی سطح زمین بوده و نقش به‌سزایی در تحلیل تغییرات آب‌وهوایی و تأثیرات آن بر محیط زیست دارد [1].

برخی از محققان با مطالعه داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی روند گرم شدن دمای سطح زمین را گزارش کرده‌اند. سلیمی‌فرد [6] با استفاده از داده‌های ۹ ایستگاه فعال در استان خراسان رضوی در بازه زمانی ۱۹۹۰ الی ۲۰۱۵ روند افزایشی دما را گزارش کردند، اما استخراج روند از این داده‌ها زمان‌بر و پرهزینه هستند [۷]. در مطالعه‌ای دیگر، قوبدل [8] با بررسی و تحلیل داده‌های دمای بیشینه روزانه از ۱۳ ایستگاه استان خوزستان اثرات امواج ابر گرم را بررسی کرد. مزیدی و فلاح‌زاده [9] برای مطالعه دمای اعماق زمین داده‌های روزانه دمای خاک ایستگاه‌های سینوپتیک یزد را جمع‌آوری کردند. از این رو، اغلب مطالعات در این حوزه به کمک تصاویر ماهواره‌ای و سنجش از دوری شاخص‌های مختلف را مطالعه می‌کنند. این تکنولوژی امکان بررسی عوارض کره زمین را در بازه زمانی و مکانی طولانی فراهم کرده است. بسیاری از محققان در علوم مختلف مانند جغرافیا، محیط زیست و هواشناسی از این ابزار برای افزایش بهره‌وری و گستره مطالعات

خود بهره برده‌اند [10]. شاخص دمای سطح زمین (LST) یکی از محصولات سنجش از دوری است که در گستره زمانی و مکانی مناسبی امکان مطالعه تغییرات را فراهم آورده است [11,12]. دمای سطح زمین میزان تابش ساطع شده از سطح زمین و تبادل انرژی بین سطح و جو را منعکس می‌کند [13,14]. این سنجش از دوری در بسیاری از مطالعات از قبیل منابع حرارتی زمین، تعادل انرژی تغییر اقلیم و پدیده‌های شهری، رطوبت خاک و مدیریت منابع آب کاربرد دارد [15]. مأموریت مودیس (MODIS) [7] امکان اندازه‌گیری و ثبت تصاویر مربوط به دمای سطح زمین را دارد. دو سنجنده ترا و آکوا توانایی اندازه‌گیری دمای سطح زمین در دو بازه زمانی روزهنگام و شب‌هنگام را دارند. این مأموریت امکان انجام تحقیقات بسیاری را در موضوعات متنوع برای محققان میسر ساخته است به طوری که بسیاری از آن‌ها توانسته‌اند با مطالعه بلندمدت شاخص LST ارتباط آن را با دیگر عوامل محیطی مطالعه کنند. در یک پژوهش با استفاده از داده‌های سنجنده ترا و آکوا از مأموریت مودیس در بازه زمانی ۲۰۰۳ تا ۲۰۲۳ برای استان گیلان، دمای شب و روز سطح زمین و ارتباط آن با میزان سبزی‌نگی و رطوبت بررسی شد [16]. در تحقیقی دیگر، طریق و همکاران (et.al Tariq) [17] اعلام کردند که ارتباط مستقیمی بین دمای سطح زمین، شاخص سبزی‌نگی (NDVI) و شاخص محتوای آب (NDWI) وجود دارد. بهروزآباد و همکاران [18] در حوزه آبریز دریاچه جازموریان با استفاده از سنجنده ترا و آکوا دمای شب هنگام سطح زمین را بررسی کردند. آن‌ها با برآورد شاخص LST بین سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۹ دریافتند که مقادیر شب‌هنگام LST در این دوره مخصوصاً از ۲۰۰۸ به بعد در ماه‌های منتج به دوره سرد سال روند افزایش را شاهد بوده است.

مطالعاتی زیاد در حوزه کاربرد دمای سطح زمین انجام شده است. موسوی و همکاران در سال ۱۴۰۲ با تصاویر ماهواره لندست (LANDSAT) طی سال‌های ۱۹۹۱ تا ۲۰۲۱ شاخص دمای سطح زمین را در سه شهر کاشان، شیرگاه و بندر انزلی جمع‌آوری و مطالعه کردند. آن‌ها اعلام کردند که گسترش فیزیکی شهرها که منجر به تغییرات مکانی و زمانی شده، در خواص بیوفیزیکی شهر از جمله LST تأثیرگذار بوده و افزایش دمای سطح شهر را در پی داشته است. علاوه بر این، با توجه به شرایط اقلیمی میانگین سبزی‌نگی در مناطقی با اقلیم مرطوب (انزلی و شیرگاه) نسبت به مناطقی با اقلیم گرم و خشک

داده و روش

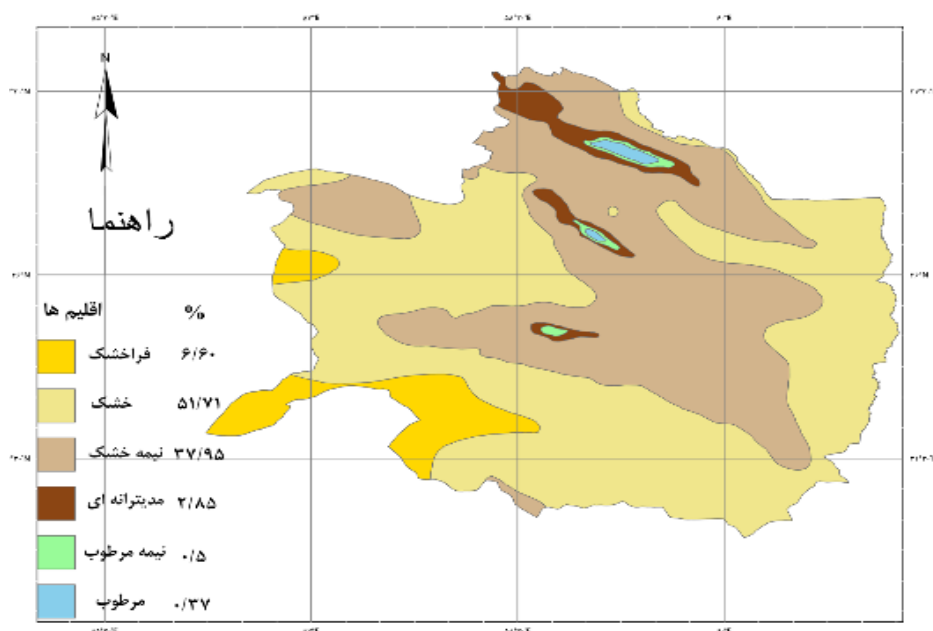
در این پژوهش از سنجنده آکوا از مأموریت مودیس استفاده شده است. تصاویر این سنجنده قدرت تفکیک مکانی متفاوتی دارند؛ ۲ باند با تفکیک مکانی ۲۵۰ متر، ۵ باند با تفکیک مکانی ۵۰۰ متر و ۲۹ باند با دقت مکانی ۱۰۰۰ متر [25]. شاخص دمای سطح زمین از محصول MOD11A1/061 سنجنده آکوا و در بازه زمانی ۲۰ ساله از ۲۰۰۳ الی ۲۰۲۳ جمع‌آوری شده است. این محصول دسترسی به دقت مکانی ۱۰۰۰ متر و زمانی یک روز را برای روزهای گرم و شب‌های خنک فراهم آورده است.

سنجنده آکوا در مدار همسان با خورشید حرکت می‌کند به این معنی که همانند خورشید، هر روز در یک ساعت محلی مشخص از یک منطقه زمین عبور می‌کند. این ویژگی امکان ثبت داده‌های مرتب با آن نقطه را به صورت روزانه مهیا می‌کند. چرخش آکوا به نحوی است که در ساعت ۱:۳۰ عصر به وقت محلی از جنوب به شمال از نوار استوا عبور و داده روز را ثبت می‌کند. از گذر شمال به جنوب نیز در به وقت محلی ۱:۳۰ بامداد دوباره از استوا می‌گذرد. حرکت این سنجنده از این نظر اهمیت دارد که در گذر روزانه خود در ساعت ۱:۳۰ عصر تقریباً مقدار حداکثر دمای سطح زمین را ثبت می‌کند. همچنین، در ساعت گذر شبانه نیز به نحوی است که دمای سطح را در خنکی ثبت کند. با تلفیق دمای سطح روز و شب‌های محققان می‌توانند با نگاهی کلی‌تر روندهای دمایی و تغییر اقلیم را مطالعه کنند [26].

محصول MOD11A1 نسخه ۶/۱ مقادیر دمای سطح زمین (LST) و گسیلمندی (emissivity) را به صورت روزانه در یک شبکه ۱۲۰۰ در ۱۲۰۰ کیلومتر فراهم می‌کند. مقدار دما از محصول نواری MOD11_L2 استخراج می‌شود. در عرض‌های بالاتر از ۳۰ درجه، برخی پیکسل‌ها ممکن است دارای چندین مشاهده باشند که معیارهای آسمان صاف را برآورده می‌کنند. در این موارد، مقدار پیکسل میانگین همه مشاهدات واجد شرایط است. به همراه باندهای دمای سطح در روز و شب و لایه‌های شاخص کیفیت آن‌ها، باندهای ۳۱ و ۳۲ مودیس و شش لایه مشاهده نیز ارائه می‌شود. تصاویر این محصول به صورت میانگین هفتگی و با دقت مکانی ۵ کیلومتر در محدوده استان خراسان رضوی که در شکل (۱) قابل مشاهده است، گرفته شد. برای این منظور از سامانه گوگل ارث انجین (Google Earth Engine) استفاده گردید. روندیابی سری زمانی نیز در نرم‌افزار متلب و با استفاده از روش رگرسیون خطی (Linear Regression) محاسبه شد [27].

(کاشان) متفاوت است [7]. همچنین، مرادی و همکاران [19] با استفاده از داده‌های روزهای گرم مودیس شیب دمای سطح زمین را در ایران مورد ارزیابی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که تغییرات زمانی مکانی چشم‌گیری در شیب دمای سطح زمین ایران دیده می‌شود. در مطالعه‌ای دیگر، ذوالفقاری و همکاران در سال ۱۴۰۲ طی یک پژوهش به مطالعه روند دمای سطح زمین در ایران مرکزی با استفاده از داده‌های سنجنده ترا از مأموریت مودیس پرداختند. آن‌ها با استخراج تصاویر از سال ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۸ دریافتند که بیشترین افزایش در استان‌های اصفهان، سمنان و قم رخ داده در حالی که کمترین کاهش در استان‌های یزد و اصفهان بوده است. مسئله دیگر تفاوت میان میزان دمای سطح زمین در طول روز و شب با توجه به جذب انرژی تابشی خورشید است. این انرژی در طول روز جذب سطح شده و طی شب رفته‌رفته به محیط بر می‌گردد که باعث افزایش میانگین دمای سطح در شب‌های گرم نیز می‌شود. شب‌های گرم سطح زمین به شکل یک سطح هم‌دما و هم‌گن عمل می‌کند به طوری که می‌تواند منجر به ظهور اختلاف ۲۰ درجه‌ای دما شود در حالی که این اختلاف در طول شب نمود چندانی ندارد [21].

پس از بررسی منابع مختلف در حوزه پایش بلندمدت روند دمای سطح زمین این امر واضح شد که تأثیرات تغییرات دمای سطح بر انواع خرده‌اقلیم کمتر مورد بررسی قرار گرفته است. با وجود تشدید عوامل مؤثر بر دمای سطح زمین لزوم ارزیابی تغییرات زمانی و مکانی LST در اقلیم‌های مختلف محلی وجود دارد [22]. فعالیت‌های انسانی و پدیده تغییر اقلیم به طرز معنی‌داری بر روی پوشش و کاربری زمین تأثیر گذاشته است [23]. در کنار این عوامل، فرونشست در خراسان رضوی به دلیل برداشت غیر اصولی از سفره‌های آب زیرزمینی خود تغییرات اقلیمی را تشدید کرده و موجب افزایش دمای سطح زمین شده است [24]. مطالعات انجام شده در این زمینه نتوانستند اثر تغییرات دمای سطح زمین را بر خرده‌اقلیم‌ها و پوشش‌های گیاهی بررسی کنند. همچنین، در تحقیقات انجام شده در ایران کمتر به بررسی بلندمدت شاخص LST پرداخته شده است. از این رو، در این تحقیق هدف آن است که در یک بازه زمانی بلندمدت ۲۰ ساله از ۲۰۰۳ تا ۲۰۲۳ میلادی شاخص LST و تأثیر متقابل آن بر اقلیم‌های استان خراسان رضوی مورد بررسی قرار گیرد.



شکل ۱. تنوع اقلیمی استان خراسان رضوی به عنوان محدوده مطالعاتی [28]

روش تحقیق

به منظور محاسبه سری زمانی با استفاده از تصاویر جمع‌آوری شده LST در طول دوره مطالعه از روش رگرسیون خطی استفاده گردید. در این روش، زمان t به متغیر مستقل تبدیل می‌شود و مدل روند خطی به صورت زیر محاسبه می‌شود: [16]

$$LST_t = a + bt \quad (1)$$

که در آن:

۱. LST_t مقدار LST در زمان t است.

۲. a عرض از مبدأ y است که مقدار تخمینی LST را در زمان صفر ($t = 0$) نشان می‌دهد (که ممکن است یک نقطه داده واقعی نباشد).

۳. b شیب خط است که نشان دهنده تغییر LST به ازای هر واحد فاصله زمانی است. (b مثبت نشان دهنده روند افزایشی و منفی نشان دهنده روند کاهشی است).

دمای سطح زمین در چرخه شب و روز به طور قابل ملاحظه‌ای تحت تأثیر تابش خورشیدی و رفتار سطوح مختلف زمین قرار می‌گیرد. در طول روز، زمین گرمای خورشید را جذب می‌کند و این امر باعث افزایش تدریجی دمای سطح می‌شود. سطوح با توجه به نوع پوشش و ویژگی‌هایشان، نرخ‌های متفاوتی در جذب و حفظ گرما دارند. به عنوان مثال، آب به دلیل ظرفیت گرمایی بالا، گرم شدن و سرد شدنش کندتر

منطقه مورد مطالعه

استان خراسان رضوی در شمال شرقی ایران و در طول جغرافیایی ۶۲ تا ۵۶ درجه شرقی و در عرض جغرافیایی ۳۳ تا ۳۸ درجه شمالی با مساحت ۱۱۷۲۰۰ کیلومتر مربع گسترش یافته و در شکل (۱) قابل مشاهده است.

جمعیت خراسان رضوی طبق سرشماری نفوس و مسکن در سال ۱۳۹۵ حدود شش و نیم میلیون نفر بوده که از این حیث دومین استان پرجمعیت ایران به شمار می‌رود. مشهد به عنوان دومین کلان‌شهر ایران از نظر وسعت و جمعیت، مرکز این استان است. میزبانی از صنایع، معادن و تعداد زیادی از گردشگران به طور سالانه، جایگاهی استراتژیک به این استان داده است. خراسان رضوی بر اساس طبقه‌بندی دومارتن شش نوع اقلیم را در خود جای داده است. مطابق شکل (۱)، شش اقلیم خشک، نیمه‌خشک، فراخشک، نیمه‌مرطوب، مرطوب و مدیترانه‌ای در این استان قرار گرفته است. دو اقلیم خشک و نیمه‌خشک به ترتیب با ۵۱/۵۷ و ۳۷/۹۵ درصد بیشترین سهم از مساحت استان را به خود اختصاص داده‌اند، در حالی که سایر اقلیم‌ها در حدود ۱۰ درصد از مساحت کل استان را شامل می‌شوند. خراسان رضوی یکی از تولیدکنندگان اصلی محصولات متنوع کشاورزی نیز هست. از این رو، بررسی عوامل تأثیرگذار بر اقلیم از اهمیت بالایی برخوردار است.

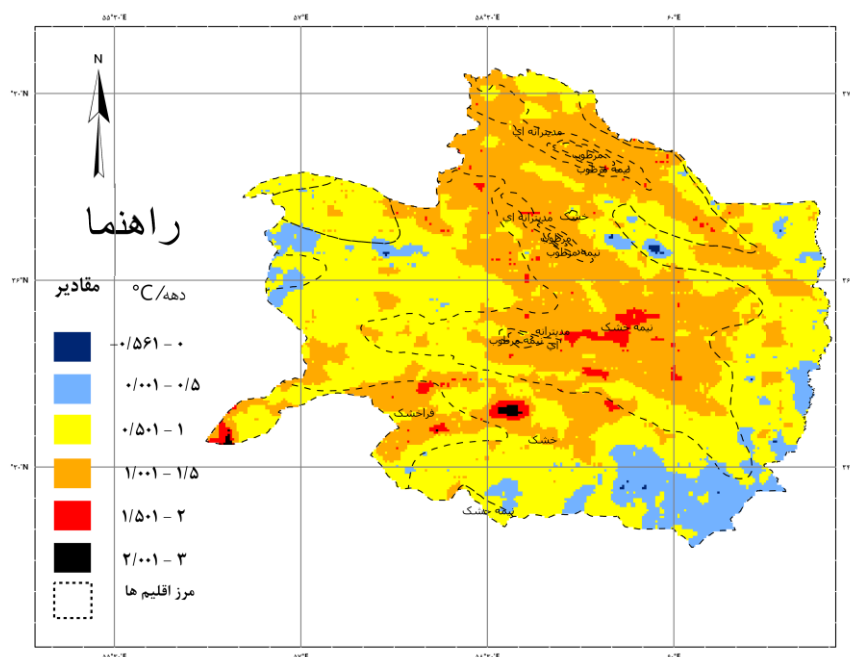
مطالعه از سامانه گوگل ارث انجین با زبان برنامه‌نویسی جاوا اسکریپت (Java Script) است که به صورت هفتگی در طول ۲۰ سال برای روز و شب جمع‌آوری شده است. در ادامه، تصاویر به صورت سری زمانی در نرم‌افزار متلب مرتب شده و رابطه (۱) بر روی تمامی پیکسل‌های آن پیاده گردید و در نهایت پارمتر b به عنوان شیب روند دمای سطح به عنوان خروجی به دست آمد. سپس، نقشه روند دمای سطح زمین در نرم‌افزار آرک پرو (Arcgis pro) برای روز (شکل ۲) و شب (شکل ۳) و بر اساس اقلیم‌های استان خراسان رضوی (شکل ۱) تولید گردید. میانگین، انحراف از معیار و دیگر محاسبات آماری دمای سطح زمین محاسبه شده برای هر اقلیم در جدول (۱) و جدول (۲) نمایش داده شده است.

در بررسی روند دمای روز هنگام مشخص می‌شود که اغلب مناطق در محدوده استان روند افزایشی را تجربه کرده‌اند. همان‌طور که در جدول (۱) قابل مشاهده است، در دو اقلیم خشک و نیمه‌خشک که بیشترین مساحت استان را پوشش داده‌اند، در حدود ۹۰ درصد، به ترتیب ۹۹/۳۴ و ۹۹/۸۶ درصد از نقاط روند افزایشی داشته‌اند، در صورتی که در سایر اقلیم‌ها تمام مساحت به نقاط با روند افزایشی اختصاص یافته است.

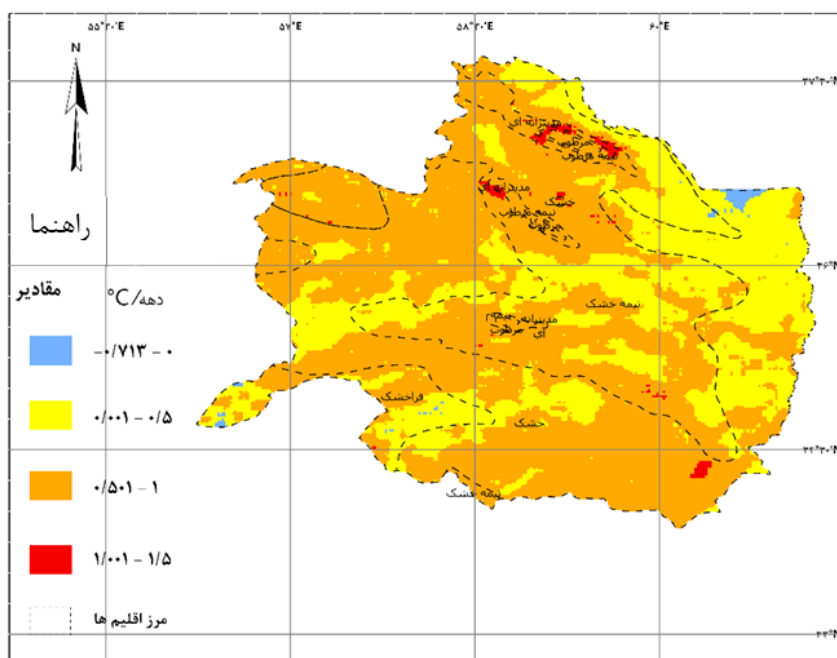
است. در مقابل، سطوح شنی به سرعت گرم می‌شوند و گرما را نیز به سرعت از دست می‌دهند [29]. علاوه بر این، پوشش گیاهی نیز در طول روز با انجام فتوسنتز، دی‌اکسیدکربن را جذب و اکسیژن آزاد می‌کند. این فرایند ضمن تولید ماده غذایی در گیاه، اثر خنک‌کنندگی در محیط اطراف نیز دارد. اما در شب، در غیاب انرژی خورشیدی، زمین از طریق تابش گرما را به فضا از دست می‌دهد. این فرایند منجر به کاهش دما و خنک شدن سطح زمین می‌شود. رفتار سطوح مختلف زمین نیز در شب و روز به دلیل عدم وجود نور خورشید، متفاوت است. به عنوان مثال، در شب گیاهان فتوسنتز نمی‌کنند و تبادل حرارتی در اکوسیستم‌های گیاهی دگرگون می‌شود [30]. تفاوت دمای شب و روز و پویایی تبادل حرارتی سطوح مختلف زمین در مطالعات مربوط به آب و هوا، اکوسیستم‌ها و فرایندهای زمین‌شناسی کاربرد داشته و حائز اهمیت است. از این رو، درک این تفاوت‌ها به شناخت بهتر نحوه عملکرد سیاره زمین و تعاملات بین اجزای مختلف آن کمک می‌کند. بر همین اساس در این پژوهش روند دمای سطح زمین به صورت تفکیک شده برای روز و شب محاسبه شده است. در ادامه مراحل پیاده‌سازی شرح داده خواهد شد.

نتایج عددی

تصاویر مربوط به شاخص LST برای روز و شب در دوره مورد



شکل ۲ طبقه‌بندی روند (شیب تغییرات) دمای روز هنگام سطح زمین بر اساس اقلیم‌های مختلف در استان خراسان رضوی از ابتدای سال ۲۰۰۳ تا ۲۰۲۳



شکل ۳ طبقه‌بندی روند (شیب تغییرات) دمای شب‌هنگام سطح زمین بر اساس اقلیم‌های مختلف در استان خراسان رضوی از ابتدای سال ۲۰۰۳ تا ۲۰۲۳

جدول ۱ نتایج آماری روند دمای روز هنگام سطح زمین در اقلیم‌های مختلف استان خراسان رضوی

نام اقلیم	درصد از کل	درصد افزایشی	درصد کاهش	میانگین نقاط کاهش (°C/دهه)	میانگین نقاط افزایشی (°C/دهه)	انحراف معیار	میانگین کل (°C/دهه)	کمترین (°C/دهه)	بیشترین (°C/دهه)
خشک	۵۱/۷۳	۹۹/۳۴	۰/۶۶	-۰/۱۷	۰/۸۱	±۰/۳۳	۰/۸۰	-۰/۶۴	۲/۴۸
نیمه‌خشک	۳۷/۹۵	۹۹/۸۶	۰/۱۴	-۰/۱۱	۱/۰۷	±۰/۲۷	۱/۰۷	-۰/۳۱	۲/۰۲
فراخشک	۶/۶۰	۱۰۰	۰	۰	۱	±۰/۳۶	۱	۰/۰۶	۲/۷۸
مرطوب	۰/۳۷	۱۰۰	۰	۰	۱/۲۵	±۰/۱۶	۱/۲۵	۰/۸۷	۱/۴۵
نیمه‌مرطوب	۰/۵۰	۱۰۰	۰	۰	۱/۱۹	±۰/۱۵	۱/۱۹	۰/۹۵	۱/۵۹
مدیترانه‌ای	۰/۸۵	۱۰۰	۰	۰	۱/۲۳	±۰/۱۷	۱/۲۳	۰/۸۱	۱/۶۲

روند کاهش در این منطقه بوده است.

از طرف دیگر، با دقت در شکل (۲) مشاهده می‌شود که بخش عمده‌ای از مساحت استان متعلق به روند افزایشی است، جایی که تنها ۰/۴۵ درصد از کل مساحت خراسان رضوی به پیکسل‌های با روند افزایشی تعلق دارد. بررسی اقلیم‌ها در جدول (۱) نشان می‌دهد که اقلیم‌های مرطوب و مدیترانه‌ای بیشترین مقدار روند را داشته‌اند، به ترتیب ۱/۲۵ و ۱/۲۳ سانتی‌گراد. در صورتی که، کمترین مقدار روند افزایشی مربوط به اقلیم خشک با ۰/۸۱ سانتی‌گراد بوده است. با در نظر گرفتن

با نگاهی جزئی‌تر به جدول (۱)، مشاهده می‌شود که اقلیم خشک به عنوان گسترده‌ترین اقلیم، بیشترین تعداد نقاط روند کاهش را در خود جای داده است. به نحوی که میانگین روند در این نقاط -۰/۱۷ سانتی‌گراد بوده و کمترین دمای محاسبه شده در این روند -۰/۶۴ سانتی‌گراد است. این نقاط که با رنگ آبی تیره در شکل (۲) قابل مشاهده هستند در جنوب شرقی شهر مشهد واقع شده‌اند که مربوط به کاربری کشاورزی است و در اغلب طول سال زیر کشت قرار دارد. به نظر می‌رسد که وجود پوشش گیاهی در این منطقه به صورت متمرکز دلیل

با نگاهی دقیق‌تر به شکل (۳)، مشاهده می‌شود که در شمال شرق استان و در منطقه خوانگیران، نقاط کاهشی تجمع دارند. بر خلاف روند روزهنگام که نقاط با روند کاهشی عمدتاً در مناطق با پوشش گیاهی دیده می‌شود، این منطقه کوهستانی بوده و پوشش گیاهی آن غنی نیست. به طور مشابه در جنوب غربی استان، نقاطی با روند کاهشی دما قابل مشاهده هستند که عاری از پوشش گیاهی است. به نظر می‌رسد که بر خلاف روند روزهنگام، پوشش گیاهی در روند کاهشی دمای سطح در شب‌هنگام اثرگذار نبوده است.

از سوی دیگر، بیش‌ترین افزایش دمای سطح شب‌هنگام که با رنگ قرمز نمایش داده شده مربوط به بخش‌های محدودی از اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک در جنوب استان بوده و بخشی دیگر مربوط به اقلیم‌های مدیترانه‌ای و نیمه‌خشک در شمال خراسان رضوی است.

از بررسی شکل (۲) و (۳) مشخص می‌شود که در تعدادی از نقاط جهت روند دمای سطح زمین در روزهنگام و شب‌هنگام کاملاً متفاوت است. به همین جهت این نقاط به صورت تفکیک شده در شکل (۴) آمده‌اند.

با توجه به شکل (۴) مشاهده می‌شود که ۹۸/۴۱ درصد از نقاط که با مثلث‌های قرمز رنگ مشخص شده‌اند، روند روزهنگام و شب‌هنگام هم‌جهت است؛ دمای سطح زمین طی دوره در یک نقطه برای روزهنگام و شب‌هنگام هر دو افزایشی یا کاهشی بوده است. در صورتی که تنها در ۱/۵۹ درصد (مثلث‌های آبی‌رنگ) از نقاط استان در دوره مطالعه روند معکوس داشتند که به معنی افزایش دمای سطح زمین در روزهنگام و کاهش آن در شب‌هنگام، یا بالعکس بوده است.

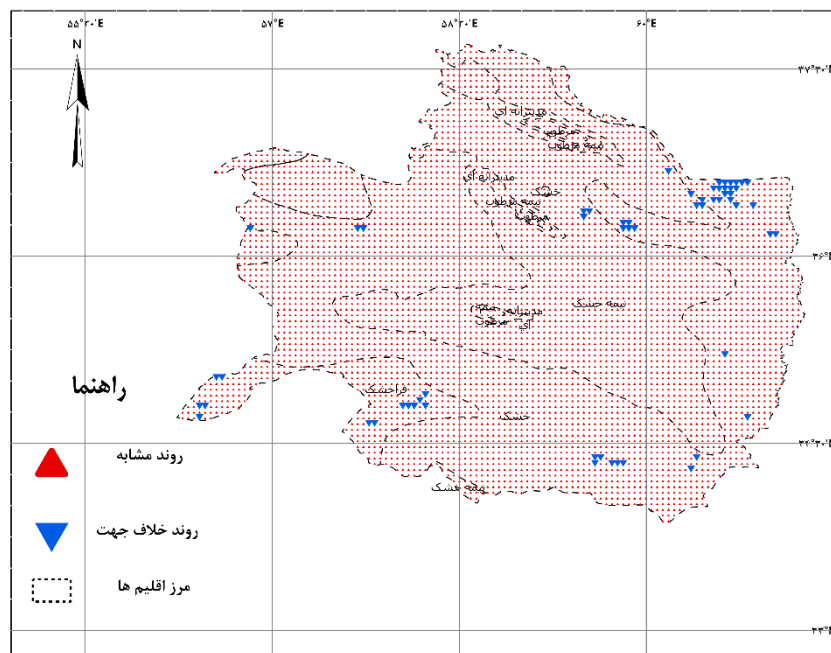
توأمان نقاط افزایشی و کاهش، میانگین روند کل برای هر اقلیم به این صورت است که کمترین افزایش معادل ۰/۸۰ مربوط به اقلیم خشک و بیش‌ترین افزایش دما در اقلیم مرطوب با ۱/۲۵ رخ داده است. همچنین، گرم‌ترین نقاط روند روزهنگام در روند ۲۰ ساله در اقلیم خشک متمرکز هستند که با رنگ مشکی نمایش داده شده‌اند. بررسی این منطقه که مربوط به شهرستان بجستان است نشان می‌دهد که پوشش گیاهی در این دوره تضعیف شده و کاهش یافته است.

بررسی روند شب‌هنگام (جدول ۲) نشان می‌دهد که استان خراسان رضوی در عمده مساحت خود شاهد افزایش دمای سطح طی دوره مطالعه این پژوهش بوده است.

در جدول (۲) مشاهده می‌شود که در سه اقلیم مرطوب، نیمه‌مرطوب و مدیترانه‌ای، ۱۰۰ درصد مساحت را نقاط افزایشی تشکیل داده‌اند و میانگین روند در این نقاط بین ۰/۸ الی ۰/۹ سانتی‌گراد بوده که از میانگین روند در سه اقلیم دیگر بالاتر است. سه اقلیم خشک، نیمه‌خشک و فراخشک، در حدود ۹۶ درصد از مساحت استان، تمامی نقاط با روند کاهشی را در خود جای داده‌اند. در این بین، اقلیم فراخشک پایین‌ترین مقدار، ۰/۲۲- سانتی‌گراد، را در میانگین روند نقاط کاهشی را نسبت به دو اقلیم خشک و نیمه‌خشک، به ترتیب ۰/۰۷- و ۰/۰۶- سانتی‌گراد داشته است. در حالی که، میانگین نقاط افزایشی در این سه اقلیم در حدود ۰/۶۰ سانتی‌گراد بوده است. علاوه بر این، کمترین کاهش دمای سطح زمین در اقلیم فراخشک (۰/۷۹- سانتی‌گراد) و بیشترین افزایش دمای سطح زمین در اقلیم نیمه‌خشک، ۱/۳۸ سانتی‌گراد، به دست آمده است. به طریق مشابه محاسبات و پردازش‌ها برای روند شب نیز انجام شد که در شکل (۳) قابل مشاهده است.

جدول ۲ نتایج آماری روند دمای شب هنگام سطح زمین در اقلیم‌های مختلف استان خراسان رضوی

نام اقلیم	درصد از کل	درصد افزایشی	درصد کاهشی	میانگین نقاط (°C/دهه کاهشی)	میانگین نقاط (°C/دهه افزایشی)	انحراف معیار	میانگین کل (°C/دهه)	کمترین (°C/دهه)	بیشترین (°C/دهه)
خشک	۵۱/۷۳	۹۹/۳۰	۰/۷۰	-۰/۰۷	۰/۵۵	±۰/۱۸	۰/۵۵	-۰/۱۶	۱/۳۰
نیمه‌خشک	۳۷/۹۵	۹۹/۸۱	۰/۱۹	-۰/۰۶	۰/۵۹	±۰/۲۱	۰/۵۹	-۰/۱۳	۱/۳۸
فراخشک	۶/۶۰	۹۶/۴۷	۳/۵۳	-۰/۲۲	۰/۵۰	±۰/۲۱	۰/۴۸	-۰/۷۹	۱/۳۰
مرطوب	۰/۳۷	۱۰۰	۰	۰	۰/۸۲	±۰/۱۱	۰/۸۲	۰/۶۶	۱/۰۸
نیمه‌مرطوب	۰/۵۰	۱۰۰	۰	۰	۰/۸۹	±۰/۰۹	۰/۸۹	۰/۷۲	۱/۱۱
مدیترانه‌ای	۰/۸۵	۱۰۰	۰	۰	۰/۸۷	±۰/۱۴	۰/۸۷	۰/۳۴	۱/۱۷



شکل ۴ نقشه همبستگی جهت روند (شیب تغییرات) دمای سطح در روزها و شب‌ها

بحث و بررسی

توجهی در کاهش دمای سطح زمین در این منطقه داشته است به طوری که افزایش ۲۰۸ هکتاری فضای سبز، کاهش ۸ درصدی میانگین LST را در پی داشته است [32]. مطالعه دیگری که توسط پانتا (Pantha et al) و همکاران در سال ۲۰۲۴ انجام شد دریافتند که در مناطقی که کاربری کشاورزی و پوشش گیاهی کاهش یافته، LST افزایش داشته است [33]. با مقایسه نتایج تحقیق حاضر با مطالعات دیگر محققان نتیجه می‌شود که LST به صورت معکوس با حضور پوشش گیاهی سطحی مرتبط است.

از طرفی، از بررسی شکل‌ها و جدول‌ها مشخص می‌شود که کاربری کشاورزی تأثیر چندانی در حفظ دمای شبانه سطح زمین ندارد. ژنگ (Zheng et al) و همکاران در سال ۲۰۲۱ با بررسی شاخص NDVI و دمای روزها و شب‌ها دریافتند که تأثیر پوشش گیاهی بیشتر متأثر از دمای روزها است تا شب‌ها [34]. به این ترتیب نتیجه می‌شود تأثیر پوشش گیاهی مقدار LST شبانه کمتر بوده است. در مطالعه‌ای دیگر، منگجیائو (Mengjiao et al) و همکاران در سال ۲۰۲۴ به بررسی عوامل مؤثر بر دمای سطح زمین پرداختند و نتایج نشان داد که چهار عامل محرک میزان ابر، پوشش گیاهی، پوشش برف و بارندگی عمدتاً دارای همبستگی‌های جزئی منفی در

با توجه به نتایج و اطلاعات مربوط به اقلیم و پوشش گیاهی در منطقه مورد مطالعه مشخص می‌شود که نقاط با روند معکوس در شکل (۴) مربوط به مناطق متفاوتی هستند؛ این نقاط بیش‌تر در منطقه خوانگیران در شمال شرقی استان قرار گرفته‌اند. با بررسی سایر نقاط معلوم گردید که غیر جنوب غربی استان و جنوب شهر مشهد، نقاط با روند معکوس دارای پوشش گیاهی از نوع جنگل، مرتع‌های محلی و یا کاربری کشاورزی بوده‌اند. پوشش گیاهی در طول روز در عمل فتوسنتز و دی‌اکسیدکربن را جذب و اکسیژن آزاد می‌کند و در عین حال آب را نیز تعریق می‌کند. این فرایند می‌تواند یک اثر خنک‌کننده در نواحی اطراف داشته باشد. در شب، بدون نور خورشید برای فتوسنتز، پوشش گیاهی معمولاً این فرایندها را متوقف می‌کند و منجر به پویایی در تبادل حرارت می‌شود. به عبارتی، گیاهان به طور قابل توجهی بر تعادل دمای سطح زمین تأثیر می‌گذارند، به طوری که دما در روز و شب به طرز متفاوتی تحت تأثیر قرار می‌گیرند [۳۱] و می‌توان گفت که پوشش گیاهی در این نقاط سهم و اثر زیادی در شاخص دمای سطح زمین داشته است. در مطالعه‌ای که توسط منصورمقدم و همکاران در سال ۲۰۲۳ انجام شد، مشخص گردید که توسعه کمربند سبز شهر یزد تأثیر قابل

است تا در مطالعات بعدی نقش و تأثیر سایر عوامل از جمله انواع کاربری‌های زمین و تنوع پوشش گیاهی به طور جداگانه بررسی شود تا قبل از شروع عواقب جدی این تغییرات در متغیرهای اقلیمی با اجرای برنامه‌ها و استراتژی‌های مناسب توسط تصمیم‌گیران و برنامه‌ریزان از عواقب ناگوار آن جلوگیری کرد.

واژه‌نامه

LST	دمای سطح زمین
مودیس (طیف رادیومتر تصویربرداری با وضوح متوسط)	
MODIS (Moderate Resolution Imaging pectoradiometer)	
	شاخص تفاوت نرمال شده گیاهی
NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)	
	شاخص تفاوت نرمال شده آبی
NDWI (Normalized Difference Water Index)	

سپاس‌گزاری

مایلم از استاد ارجمندم، دکتر حسین اعتماد فرد، همچنین از نشریه مهندسی عمران فردوسی و سردبیر محترم آن، دکتر محمدرضا اصفهانی، به دلیل کمک‌های صبورانه و سخاوتمندانه‌شان در انتشار این مقاله صمیمانه تشکر کنم و از خدا بخواهم که در ادامه کار نیز حامی من باشد.

طول روز و همبستگی‌های جزئی مثبت در طول شب هستند [35]. در نهایت، از مقایسه نتایج این مطالعه با سایرین نتیجه می‌شود که پوشش گیاهی و کاربری کشاورزی تأثیر چندانی در کاهش یا متعادل کردن دمای سطح زمین در شب‌هنگام ندارد. علاوه بر این، به طور کلی نتیجه می‌شود که اقلیم‌های محلی نمی‌تواند به عنوان یک عامل تعیین کننده بر دمای سطح زمین شناخته شود.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق، اثرات زمانی و مکانی تغییرات دماهای روزهنگام و شب‌هنگام سطح زمین بر اقلیم‌های شش‌گانه استان خراسان رضوی در دوره زمانی ۲۰۰۳ تا ۲۰۲۳ بررسی گردید. نتایج نشان داد که تغییرات در پوشش زمین، به ویژه در مناطق کشاورزی (منطقه خوان‌گیران در شمال شرقی، بخش‌هایی از ضلع جنوبی استان و جنوب دشت مشهد)، تأثیر قابل توجهی بر دماهای روزهنگام سطح زمین دارد، به طوری که افزایش مساحت این نوع از کاربری‌ها در طول دوره باعث کاهش محسوس دما در این مناطق شده است. همچنین پوشش گیاهی و کاربری کشاورزی تأثیر مستقیمی در کاهش دمای شب‌هنگام ندارد و به عبارتی پوشش گیاهی بیشتر از آنکه بر LST شب‌هنگام تأثیر داشته باشد، بر مقدار آن برای روز مؤثر است. در نهایت، بررسی و اجماع تمام نتایج نشان می‌دهد که اقلیم‌های محلی نمی‌تواند به عنوان عامل مؤثر و اصلی در توصیف دمای سطح زمین در روز و شب شناخته شود و لازم

مراجع

- [1] N. Siabi, S. H. Sanaeinejad and B. Ghahraman, "Evaluation of the SPA Algorithm and the Feasibility of using MM5 Model Output to Estimate the Cloud Gaps in MODIS LST Images", *Journal of Geography and Environmental Hazards*, vol. 8, no. 30, pp. 133-147, (2019). <https://doi.org/10.22067/geo.v0i0.65717>
- [2] H. Etemadfard, N. Aldirawi and H. Kharaghani, "Risk Assessment of the Shatt Al-Arab Overflow in Basra", *Journal of Civil Engineering Ferdowsi*, vol. 35, no. 2, pp. 49-61, (2022). (In Persian) <https://doi.org/10.22067/jfcei.2022.74235.1103>
- [3] A. Rezaee, A. Mosaedi, A. A. Beheshti and A. Zarin, "Analysis of the time trend and periodicity of precipitation, temperature and evaporation and transpiration variables in the range of several stations with different climates," presented at the The third international conference and the sixth national conference on protection of natural resources and environment, (2022). (In Persian).

- [4] M. Shabani, S. Darvishan and K. Solaimani, "Investigating the Effects of Land Use Change on Spatiotemporal Patterns of Land Surface Temperature and Thermal Islands (Case Study: Saqqez County), *Geography and Environmental Planning*, vol. 30, no. 1, pp. 37-54, (2019). (In Persian) <https://doi.org/10.22108/gep.2019.115781.1127>
- [5] B. Feizizadeh, K. Didehban and K. Gholamnia, "Extraction of Land Surface Temperature (LST) based on landsat satellite images and split window algorithm Study area: Mahabad Catchment", *Journal of of Geographical Data (SEPEHR)*, vol. 25, no. 98, pp. 171-181, (2016). (In Persian) <https://doi.org/10.22131/sepehr.2016.22145>
- [6] M. SalimiFard, H. S. Nejad, M. J. Noghabi and L. S. Dizavandi, "Detecting the effect of climate change on extreme temperature events in Khorasan Razavi province Case study: 1990-2015", *Journal of Climate Research*, vol. 8, no. 29, pp. 111-124, (2017). (In Persian).
- [7] B. S. Mousavi, A. A. Kakroodi and S. Arvandi, "The Effect of Climatic Conditions on Spatio-Temporal Changes and biophysical Characteristics of cities Using Satellite Images (Case study: Kashan, Shirgah, Bandar Anzali cities, Iran)", *Motaleate Shahri*, vol. 12, no. 48, pp. 99-112, (2023). (In Persian) <https://doi.org/10.34785/J011.2022.023>
- [8] Y. G. Rahimi, "An Analysis of Super Heat wave Climatic Hazard Occurred in 2010 Summer in Khuzestan Province", *Journal of Geography and Planning*, vol. 19, no. 51, pp. 289-309, (2015). (In Persian).
- [9] D. A. Mazidi and F. F. Zadeh, "Study the Process of Annual Soil Temperature in Yazd Station", *Geography and Development Iranian Journal*, vol. 9, no. 24, pp. 39-, (2011). (In Persian).
- [10] A. R. Khojeen, M. M. K. Zarkesh, P. D. Arasteh, "Calculating and Calibrating Land Surface Temperature Using Landsat8 Thermal bands", *Iranian Journal of Remote Sencing & GIS*, vol. 7, no. 3, pp. 49-64, (2015). (In Persian).
- [11] A. Arvin, "An Investigation of the Relationship between Urban Heat Island and Air Pollution in the City of Isfahan", *Journal of Geography and Environmental Hazards*, vol. 7, no. 25, pp. 115-129, (2018). (In Persian). <https://doi.org/10.22067/geo.v7i1.64590>
- [12] Z. Faraji and A. Kaviani, "Spatial Downscaling of Land Surface Temperature (LST) of MODIS in Irrigated Areas by TOTRAM and OPTRAM Soil Moisture Estimation Models", *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, vol. 17, no. 3, pp. 585-596, (2023). (In Persian). <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.20087942.1402.17.3.14.2>
- [13] M. Fakhar and A. Kaviani, "Evaluation and Monitoring of Drought in Qazvin Plain Using MODIS Based Indicators in Google Earth Engine", *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, vol. 17, no. 6, pp. 1089-1103, (2024). (In Persian).
- [14] D. X. Tran, F. Pla, P. Latorre-Carmona, S. W. Myint, M. Caetano and H. V. Kieu, "Characterizing the relationship between land use land cover change and land surface temperature", *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol. 124, pp. 119-132, (2017). <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2017.01.001>
- [15] Z.-L. Li, B. H. Tang, "Satellite-derived land surface temperature: Current status and perspectives", *Remote sensing of environment*, vol. 131, pp. 14-37, (2013). <https://doi.org/10.1016/j.rse.2012.12.008>
- [16] A. Rajabi, "spatial -Temporal analysis of climate changes using tensors in the period from 2003 to 2022 (Study case: Gilan province)," Master Of Science Thesis, Remote Sensing, Ferdowsi, Mashhad, (2024).
- [17] A. Tariq , I. Riaz and Z. Ahmad et al., "Land surface temperature relation with normalized satellite indices for the estimation of spatio-temporal trends in temperature among various land use land cover classes of an arid Potohar

- region using Landsat data", *Environmental Earth Sciences*, vol. 79, pp. 1-15, (2020). <https://doi.org/10.1007/s12665-019-8766-2>
- [18] B. Abad, B. Salahi, K. Raispour and M. Moradi, "Combined Estimation of Nighttime Land Surface Temperature in Jazmourian Drainage Basin Using MODIS Sensor Data of Terra/Aqua Satellites", *Journal of the Earth and Space Physics*, vol. 48, no. 1, pp. 93-111, (2022). (In Persian).
- [19] M. Moradi, B. Salahi, and S. A. Masoodian, "Analysis the slope of land surface temperature of Iran using MODIS data", *Physical Geography Research Quarterly*, vol. 48, no. 98, pp. 517-532, 2017. (In Persian). <https://doi.org/10.22059/jphgr.2016.60823>
- [20] M. Zolfaghari, B. Rayegani, B. N. Balouchi, H. Goshtasb and A. Jahani, "Analyzing the Trend of The Temperature Parameters Related to The Central Plateau of Iran Using a Time Series of Satellite Data", *Desert Management*, vol. 11, no. 27, pp. 17-36 (2023). (In Persian). <https://doi.org/10.22034/jdmal.2023.2008659.1433>
- [21] M. Tahani Yazdali, S. M. Hosseini, F. Khormabadi and M. Mohtaram, " Investigation of monthly changes in urban heat islands of Isfahan County in the past two decades using MODIS multi-temporal data", *Environmental Sciences*, vol. 21, no. 4, pp. 41-66, (2023). <https://doi.org/10.48308/envs.2023.1265>
- [22] H. Bondar, M. M. Baygi, and B. Ghahraman, "Evaluation and Separation between Urban Heat Island and Global Warming in Mashhad Region", *Journal of water and soil*, vol. 35, no. 1, pp. 137-151, (2021). (In Persian)
- [23] W. EME El-Ashram, S. A Ibrahim and R. I Mostafa, "Statistical Measurement of the Impact of Climate and Environmental Variables on Egyptian Agricultural Output Indicators," *Alexandria Science Exchange Journal*, vol. 45, no. 3, pp. 749-768, (2024). <https://doi.org/10.21608/asejaiqsae.2024.369777>
- [24] A. Ziyadee, A. Karimi, A. Lakzian, and H. Khademi, "Dust Deposition Rate and its Relationship to Some Climatic Parameters in Khorasan Razavi Province", *Journal of Geography and Environmental Hazards*, vol. 7, no. 26, pp. 95-113, (2018). (In Persian) <https://doi.org/10.22067/geo.v7i2.66306>
- [25] V. Salomonson, B. Guenther and E. Masuoka, "A summary of the status of the EOS Terra Mission Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) and attendant data product development after one year of on-orbit performance", *IGARSS 2001. Scanning the Present and Resolving the Future. Proceedings. IEEE 2001 International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, vol. 3: IEEE, pp. 1197-1199, (2001). <https://doi.org/10.1109/IGARSS.2001.976790>
- [26] NASA. "MODIS Missions and Measurements." (2024.)
- [27] G. E. Engine. "MODIS/061/MOD11A1- Terra Land Surface Temperature and Emissivity", (2024).
- [28] S. Kamyabi, "Implementing climate classification system architectureIn Khorasan Razavi," (in Fa), *Territory*, vol. 13, no. 50, pp. 91-105, (2016). (In Persian)
- [29] M. Ahmadi, Z. S. Mirzaei and A. Dadashiroudbari, "Investigation of seasonal distribution and abnormal trend of day and night surface temperature in Iran using MODIS sensor data", *Physical Geography Research Quarterly*, vol. 53, no. 117, pp. 351-364, 2021. (In Persian)
- [30] M. Ahmadi and H. Ahmadi, "Monitoring of the Night Time land Surface Temperature in Iran Based on Output of the MODIS", *Geographical Research*, vol. 33, no. 1, pp. 174-190, (2018). (In Persian). <https://doi.org/10.29252/geores.33.1.174>
- [31] J. Xie, X. Li, L. C. H. Chung and C. J. Webster, "Effects of land surface temperatures on vegetation phenology

- along urban–rural local climate zone gradients", *Landscape Ecology*, vol. 39, no. 3, pp. 1-22,(2024).
<https://doi.org/10.1007/s10980-024-01856-6>
- [32] M. Mansourmoghaddam, N. Naghipur, I. Roustia, S. K. Alavipanah, H. Olafsson, and A. A. Ali, "Quantifying the effects of green-town development on land surface temperatures (LST)(A case study at Karizland (Karizboom), Yazd, Iran)", *Land*, vol. 12, no. 4, p. 885, (2023).<https://doi.org/10.3390/land12040885>
- [33] K. Pantha, B. Aryal and A. Shrestha, "Urban Climate Change in Populated Kathmandu Valley, Nepal: A Case Study," *Himalayan Review*, pp. 88-113, (2024). <https://doi.org/10.3126/hr.v45i1.68172>
- [34] Z. Zheng, Y. Zhang, J. Zhu, and N. Cong, "Daytime temperature contributes more than nighttime temperature to the weakened relationship between climate warming and vegetation growth in the extratropical Northern Hemisphere", *Ecological indicators*, vol. 131, p. 108203, (2021).<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.108203>
- [35] Y. Mengjiao, Z. Wei, Z. Qiqi, X. M. Ya ZHANG, C. Junfei and Y. Yujia, "Quantitative study on driving factors of land surface temperature trends on the Qinghai-Tibet Plateau from 2003 to 2020 based on partial correlation analysis," *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*, vol. 53, no. 5, p. 848, (2024).
<https://doi.org/10.11947/j.AGCS.2024.20230206>

Non-Linear Strut and Tie Modelling Approach of Retrofitted Reinforced Concrete Beam Column Joint by Prestress Joint Enlargement

Research Article

S Ahmad Nezami¹ , Jalil Shafaei²DOI: [10.22067/jfpei.2024.85341.1271](https://doi.org/10.22067/jfpei.2024.85341.1271)

1. Introduction

The need for retrofitted beam-to-column joints, which are made without observing seismic details, is definitely an important issue. Connection damage is reported as one of the most worrying causes of building chain collapse in effective earthquakes. The absence of transverse reinforcement and insufficient bond length of the beam bottom bars in the joint area are still existing seismic weaknesses, which are still the subject of investigation and presentation of a corresponding improvement plan. The strut and tie method based on the knowledge of the finite element method is a powerful and developable tool in the non-linear field. In this research, analytical models are presented for the evaluation of reinforced concrete side beam-column joints with seismic, non-seismic, and retrofitted details based on the method of joint enlargement based on the strut and tie methods. The results of the non-linear strut and tie modelling of retrofitted and un-retrofitted samples showed that this model can detect the effect of the shear reinforcement of the joint area on the shear capacity and activated non-linear mechanisms, including partial and total bond-slip of the longitudinal beam reinforcements in the joint. Moreover, the influence of the enlargement of the joint in the design of rehabilitation and deterioration of stiffness and strength is one of the other capabilities of the proposed equivalent truss-type model. The use of strut and tie model in the existing and reinforced joint has led to the estimation of the maximum force capacity of the sample with 6% accuracy based on the accompanying experimental results. In predicting the effective stiffness of the specimens, the strut and tie models could provide 25% more convergent response than the results obtained from the hard finite element models based on the experimental results. This is while reducing the time, computational cost, and increasing the quality of understanding the developed strut and tie method compared to the finite element micro model.

2. Modelling of beam-column joints by the non-linear strut and tie method

Abaqus finite element software was used for the non-linear

analysis of macro models. According to Figure 1, a load of the control displacement type was considered to the beam in the direction perpendicular to its longitudinal axis, and an axial load of $0.16 A_g f_c$ was applied to the top of the column, and the boundary conditions were considered only for the two ends of the columns.

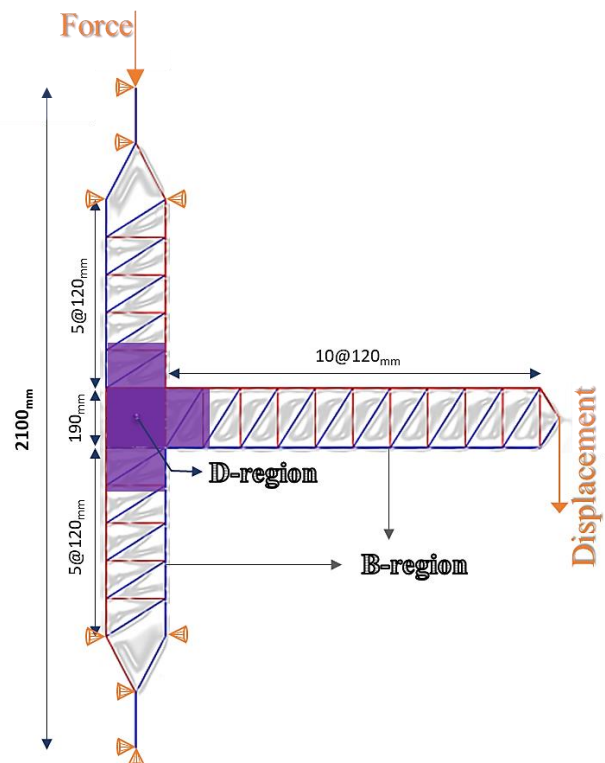


Figure 1. Loading, boundary conditions, and general dimensions of the beam-column joint strut and tie model

According to Figure 2, modelling by the strut and tie method for the control beam-column joint includes three types of existing joints, namely joints with seismic details (C1), joints without seismic details and without transverse reinforcement in the joint area (C2), and joints without

*Manuscript received November 13, 2023, Revised July 13, 2024, Accepted September 1, 2024.

¹ Corresponding Author: M.Sc. Faculty of Civil Engineering Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran.

Email: s.a.nezami@mail.um.ac.ir

² Assistant Professor, Faculty of Civil Engineering, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran.

seismic details and transverse reinforcement with insufficient bond length of the beam bottom bars in the joint area (C3). In addition, the strut and tie model for reinforced joints with seismic weakness was presented by joint enlargement. All considered joints are modeled based on the experimental specimens presented in our other research.

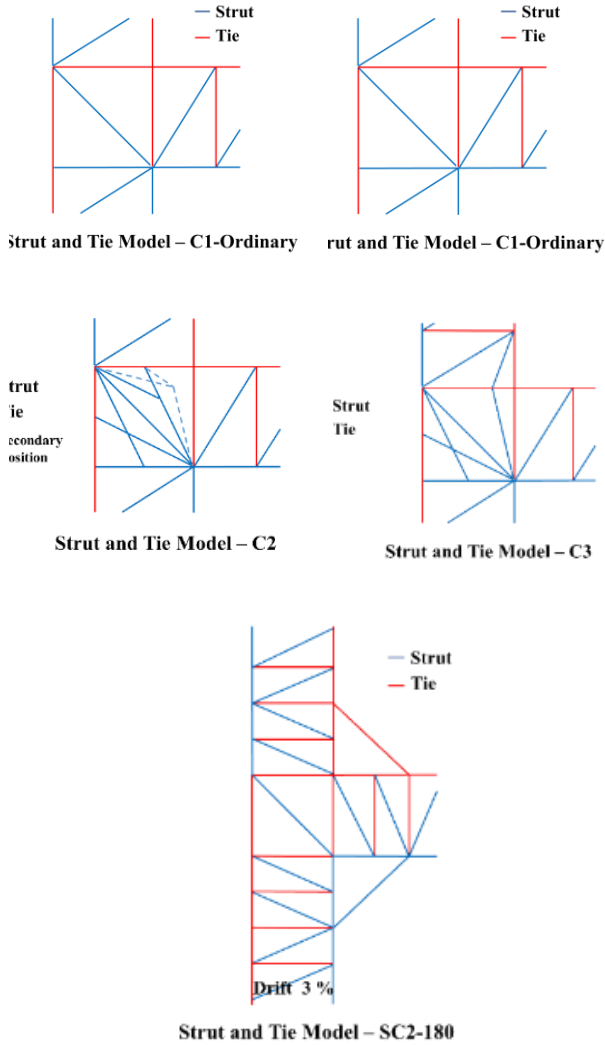


Figure 2. Strut and tie model for control and retrofitted beam-column joints

For all the materials used in the strut and tie model, non-linear behavior was considered according to the experimental specimen and validation was performed in the finite element environment. The stress-strain curves of compressive and tensile behavior of concrete models are specified in Figure 3. In this article, CDP models are used for the 3D modelling of reinforced concrete beam-column connections in the Abaqus program.

3. Results obtained from the strut and tie model

The load-displacement results of analysis by strut and tie method along with finite element model results and experimental results for seismic, non-seismic, and retrofitted joints can be seen in Figure 4. The percentage of low difference in effective stiffness and insignificant difference in load such as yielding of the non-linear model

of compression and tension grip compared to the experimental results shows that the ideal non-linear model of compression and tension grip works well in predicting force capacity and ductility in the form of monotonic analyses. The proposed models have much closer results than the micro-finite element models in agreement with experimental specimens, and also predict well the strength deterioration and the bond-slip effects of reinforcements in non-seismic joints. Such a difference between two different macro and micro models shows that innovative and engineering-based simplification can lead to reliable and accurate results. The strut and tie models presented for retrofitted joints with the approach of joint enlargement could well predict the increase of the force capacity and sub-structure of the joint according to the dimensions of the retrofitted tools.

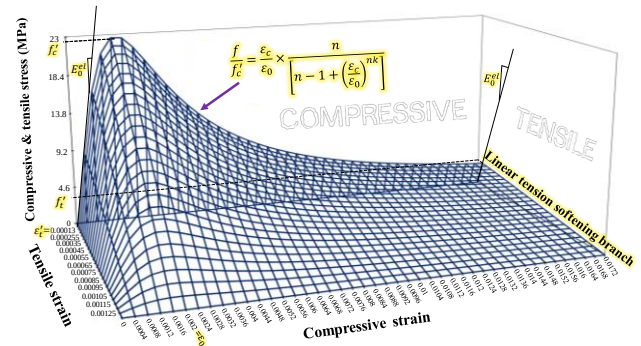


Figure 3. Stress-strain curves of concrete in tension and compression

4. Conclusions

In this research, for the existing reinforced concrete beam-column joints with and without observing seismic details (in absence of transverse reinforcement and with insufficient bond length of the beam bottom bars in the joint area), strut and tie models with the ability to predict non-linear potentials are presented. The results of non-linear models of strut and tie compared to the experimental specimens showed that the presented models have an accuracy of 5% in estimating the load such as yielding of the joint (5% better than the results of micro finite element models) and 14% in the prediction of the effective stiffness of the specimen (26% better than the results of finite element). It is also capable of predicting the shear capacity of the joint, effect of the stiffness of the joint on the shear capacity, formation of plastic joint, the deterioration of stiffness, slipping of the reinforcement in the joint, and its effect on the increase in strength and stiffness of the joint.

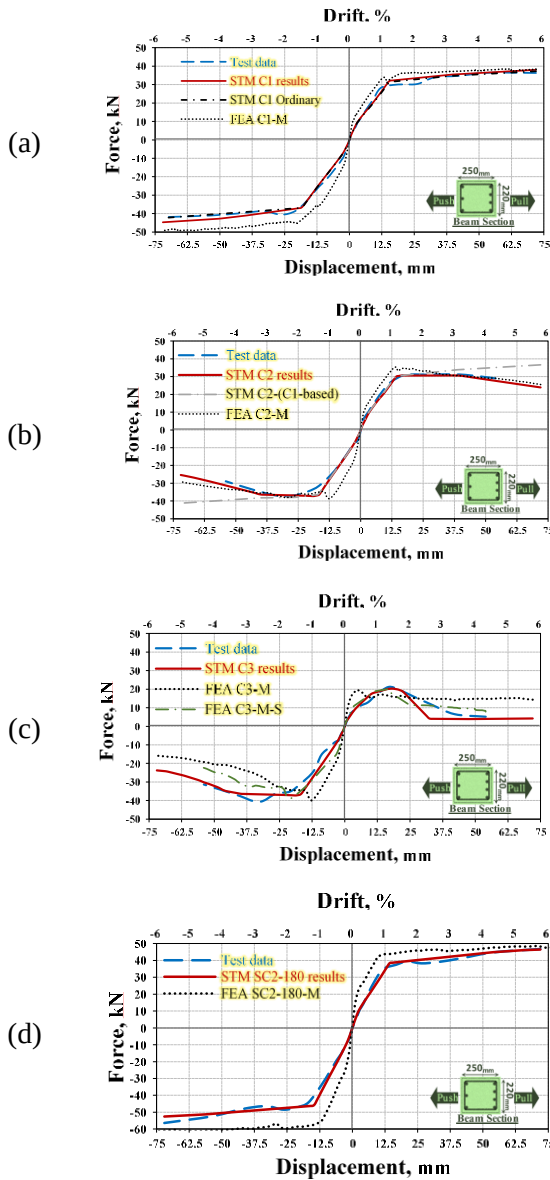


Figure 4. Load-displacement curve results of the non-linear STM method with experimental and FEA results; a) seismic connections, b) non-seismic C2, c) non-seismic C3, and d) joints retrofitted by the proposed method

The use of strut and tie models presented for retrofitted joints by enlargement resulted in accurate force-displacement responses of the specimens. The proposed truss models with non-linear potential can well predict the yield level of beam reinforcements, and by distributing the forces in concrete and steel handles, the final response, including the deterioration of strength and stiffness of the model, is available. The ability to investigate the effect of the enlargement dimensions of the joint in the present retrofitting plan is one of the capabilities of the proposed strut and tie model. The results obtained from the strut and tie model indicated 8% load compliance, such as yielding, and 15% effective stiffness compared to the experimental results for retrofitted joints.



مدل سازی غیر خطی دستک فشاری و کششی برای اتصالات بهسازی شده به روش بزرگ کردن ناحیه اتصال و پیش تنیدگی*

مقاله پژوهشی

سید احمد نظامی^(۱) ID جلیل شفافی^(۲)

DOI: 10.22067/jfcej.2024.85341.1271

چکیده ضرورت تقویت اتصالات تیر به ستون که بدون رعایت جزئیات لرزه‌ای ساخته شده‌اند، به طور قطع موضوعی زنده و پر اهمیت می‌باشد. آسیب در اتصال به عنوان یکی از نگران‌کننده‌ترین علل فروپاشی زنجیره‌ای ساختمان در زلزله‌های موثر گزارش می‌شود. عدم حضور خاموت ستون در ناحیه اتصال و عدم تامین گیرداری کافی آرماتور مثبت تیر در ناحیه اتصال کماکان ضعف‌های لرزه‌ای موجودی هستند که همچنان زمینه بررسی و ارائه طرح بهسازی متناسب با آن پر رنگ می‌باشد. روش دستک فشاری و کششی بر پایه دانش مبتنی بر روش اجزای محدود، ابزار توانمند و قابل توسعه در حوزه غیرخطی می‌باشد. در این پژوهش بر اساس روش دستک فشاری و کششی مدل‌های تحلیلی برای ارزیابی اتصالات تیر-ستون کناری بتن آرمه با جزئیات لرزه‌ای، غیرلرزه‌ای و تقویت‌شده با روش بزرگ کردن ناحیه اتصال ارائه می‌شود. نتایج حاصل از مدل‌سازی غیرخطی دستک فشاری و کششی نمونه‌های تقویت‌شده و تقویت‌نشده نشان می‌دهد که این مدل از توانایی تشخیص اثر تسلیح برشی ناحیه اتصال در ظرفیت برشی و مکانیزم‌های غیرخطی فعال‌شده از جمله لغزش جزئی و کلی آرماتورهای طولی تیر در اتصال برخوردار می‌باشند. همچنین میزان تاثیرگذاری ابعاد بزرگ‌شدگی اتصال در طرح بهسازی و زوال سختی و مقاومت از دیگر قابلیت‌های مدل خریاگونه معادل پیشنهاد شده می‌باشد. استفاده از مدل دستک فشاری و کششی در اتصالات موجود و تقویت‌شده منجر به تخمین ظرفیت نیروی حداکثر نمونه با دقت ۶٪ بر اساس نتایج آزمایشگاهی همراه بوده‌است. در پیش‌بینی سختی موثر نمونه‌ها، مدل‌های دستک فشاری و کششی توانست ۲۵٪ پاسخ همگرایی نسبت به نتایج بدست‌آمده از مدل‌های اجزای محدود بر مبنای نتایج آزمایشگاهی ارائه کند. این درحالی هست که کاهش زمان، هزینه محاسباتی و افزایش کیفیت درک روش دستک فشاری و کششی توسعه یافته در مقایسه با مدل میکرو اجزای محدود قابل توجه می‌گردد.

واژه های کلیدی اتصالات تیر به ستون، ساختمان‌های بتن مسلح، روش دستک فشاری و کششی، بزرگ کردن ناحیه اتصال، خریای غیرخطی معادل.

Non-Linear Strut and Tie Modelling Approach of Retrofitted Reinforced Concrete Beam Column Joint by Prestress Joint Enlargement

S. Ahmad Nezami

Jalil Shafaei

Abstract The need to retrofitted beam-to-column joints, which are made without observing seismic details, is definitely a live and important issue. Connection damage is reported as one of the most worrying causes of building chain collapse in effective earthquakes. The absence of transverse reinforcement and insufficient bond length of the beam bottom bars in the joint area are still existing seismic weaknesses, which are still the subject of investigation and presentation of a corresponding improvement plan. The strut and tie method based on the knowledge based on the finite element method is a powerful and developable tool in the nonlinear field. In this research, analytical models are presented for the evaluation of reinforced concrete side beam-column joints with seismic, non-seismic and retrofitted details based on the method of joint enlargement based on the strut and tie methods. The results of the nonlinear strut and tie modeling of retrofitted and un-retrofitted samples show that this model has the ability to detect the effect of shear reinforcement of the joint area on the shear capacity and activated nonlinear mechanisms, including partial and total bond-slip of the longitudinal beam reinforcements in the joint. Also, the influence of the dimensions of the enlargement of the joint in the design of rehabilitation and deterioration of stiffness and strength is one of the other capabilities of the proposed equivalent truss-type model. The use of strut and tie model in the existing and reinforced joint has led to the estimation of the maximum force capacity of the sample with 6% accuracy based on the accompanying experimental results. In predicting the effective stiffness of the specimens, the strut and tie models were able to provide 25% more convergent response than the results obtained from the hard finite element models based on the experimental results. This is while reducing the time, computational cost and increasing the quality of understanding of the developed strut and tie method compared to the finite element micro model.

Key words Beam-Column Joints, Reinforced Concrete Structures, Strut and Tie Method, Joint Enlargement, Equivalent Non-Linear Truss.

* تاریخ دریافت مقاله ۱۴۰۲/۸/۲۳ و تاریخ پذیرش آن ۱۴۰۳/۶/۱۱ می‌باشد.

(۱) نویسنده مسئول، فارغ التحصیل کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود.

Email: s.a.nezami@mail.um.ac.ir

(۲) دانشیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود.

مقدمه

ضرورت تقویت اتصالات تیر به ستونی که بدون رعایت جزئیات لرزه‌ای ساخته شده‌اند، به طور قطع موضوعی زنده و پر اهمیت می‌باشد. آسیب در اتصال به عنوان یکی از نگران‌کننده‌ترین علل فروپاشی زنجیره‌ای ساختمان در زلزله‌های مؤثر گزارش می‌شود. عدم حضور خاموت ستون در ناحیه اتصال و عدم تأمین گیرداری کافی آرماتور مثبت تیر در ناحیه اتصال کماکان ضعف‌های لرزه‌ای موجودی هستند که همچنان زمینه بررسی و ارائه طرح مقاوم‌سازی متناسب با آن رایج می‌باشد. یکی از روش‌های عملی در تقویت اتصالات تیر به ستون سازه‌های بتن‌آرمه استفاده از تکنیک بزرگ‌کردن ناحیه اتصال با استفاده از ادوات تقویتی فولادی می‌باشد. موفقیت‌های طرح تقویتی پیشنهادی در جلوگیری از شکست ترد برشی و بهبود قابل توجه شکل‌پذیری و نیروی مقاوم جانبی حداکثر شامل نمونه‌های تجربی و مدل‌های میکرو عددی در جای دیگر [1] پرداخته شده است.

مدل‌سازی به روش میکرو نیازمند سطح بالایی از اطلاعات پیرامون مدل واقعی می‌باشد و برای رسیدن به نتایج قابل قبول باید فرضیات صحیحی از شرایط مرزی، بارگذاری و وضعیت تماس‌ها وجود داشته باشد. با پیچیده شدن مدل و افزایش قیدها و المان‌ها، هزینه‌های محاسباتی افزایش پیدا می‌کند [2-5]. پیچیدگی توزیع تنش در ناحیه اتصال و اصلاح مدل نرم‌شدگی رفتار پلاستیسیته و توسعه آسیب بتن در ترکیب با فولاد از دیگر چالش‌های مدل‌سازی عددی در حوزه میکرو می‌باشد [6-9]. در حالی که مدل‌سازی به روش ماکرو با اینکه به سطح اطلاعات کمتری نسبت به مدل‌های میکرو، نیاز دارد ولی دقت انجام تحلیل در همان سطح باقی می‌ماند. مدل‌سازی ماکرو به روش دستک فشاری و کششی (Strut-and-Tie Model (STM) به عنوان جایگزین سبک و حرفه‌ای در آینده مدل‌های پر هزینه قرار دارد. فرض اساسی در مدل دستک فشاری و کششی، تفکیک‌پذیری میدان تنش پیوسته به صورت مجزا می‌باشد. با در نظر گرفتن بخش‌های فشاری به صورت دستک فشاری و برقراری تعادل نیرو با دستک‌های کششی در محل واقعی، منجر به خرابی معادلی می‌شود که می‌تواند نماینده رفتار کلی یا برخی از پارامترهای آن گردد. دستاوردی که کمک شایان به کاهش هزینه محاسبات و درک ساده از عملکرد زیرسازه به

منظور ارزیابی، بهسازی و توسعه طرح می‌کند [10-16].

در تحقیق حاضر با استفاده از نتایج به دست آمده از مدل‌های صحت‌سنجی شده میکرو [1,17] برای نمونه اتصالات تیر به ستون دارای جزئیات لرزه‌ای، بدون جزئیات لرزه‌ای و تقویت شده با تکنیک بزرگ‌کردن ناحیه اتصال، مدل خرابی معادل ارائه شده است. مدل توسعه یافته دستک فشاری و کششی قادر است به صورت نوآورانه مکانیزم‌های فعال شده غیر خطی در مناطق آشفته تنشی اتصال را پیش‌بینی کند و تصویر واضحی از مسیر نیرویی اتصالات لرزه‌ای، مستعد آسیب لرزه‌ای و تقویت‌شده را به نمایش بگذارد. وجود دانش مهندسی مبتنی بر جزئیات لرزه‌ای، جزئیات آرماتورگذاری و مکانیزم‌های خرابی و همچنین در نظر گرفتن ابتکارانه ماهیت غیر خطی در اجزای مدل و قابلیت جابه‌جایی آن، توسعه غیر خطی مدل خرابی معادل برای زیرسازه اتصال را به ارمغان آورده است.

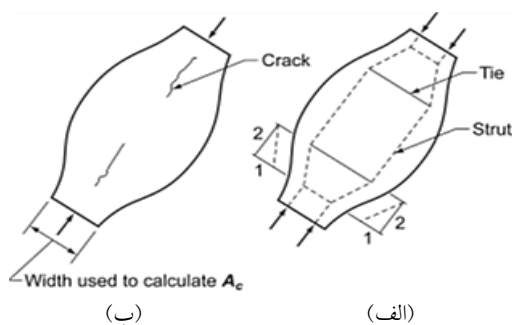
مدل‌های توسعه یافته در حالی ارائه شده است که مدل‌های پیشنهادی سایر پژوهشگران از جمله کاسم [18]، کتیوت [19]، چاماه‌اوان [20]، تای تو [21] و مارچسلا [22] در ارزیابی رفتار اتصالات لرزه‌ای تیر ستون بتن‌آرمه و اتصالات تقویت شده، یا تنها در سطح پیش‌بینی پاسخ‌های خطی باقی مانده است و یا در زمینه مدل‌های دارای ضعف لرزه‌ای مسکوت مانده‌است. استفاده از مدل خرابی معادل برای اتصالات تقویت شده به دلیل کاهش تمرکز تنش در ناحیه آشفته تنشی، ایده‌ای کارآمد و بدون چالش می‌باشد [11,22,23]. در حالی که برای رسیدن به خرابی معادل در نمونه‌هایی که بیشتر ماهیت غیر خطی و توسعه آسیب را از خود بروز می‌دهند (اتصالات مستعد آسیب لرزه‌ای) نیازمند ابتکار عمل‌های مختص می‌باشد که در این پژوهش به صورت نوآورانه دنبال شده است. با استفاده از نتایج به دست آمده از مدل‌های ارائه شده، پارامترهایی از قبیل، سهم تقاضای نیرو و ظرفیت پلاستیک دستک‌های فشاری و کششی، تأثیر ابعاد بزرگ شدگی طرح تقویت در کاهش تقاضای تنشی ناحیه اتصال و وضعیت تسلیم شدگی دستک‌های کششی مربوط به آرماتورهای طولی تیر مورد بررسی می‌گیرد.

دستک‌های خطی و غیر خطی فشاری و کششی

زمینه استفاده از مدل‌های خرابی برای بررسی ظرفیت‌های سازه، اولین بار در تحلیل برش عضو بتن مسلح استفاده گردید.

می‌تواند جریان نیروهای داخلی را پیش‌بینی کند و اعضای حامل بار بحرانی را شناسایی و طراحی سازه را انجام دهد. قابلیت اساسی روش دستک فشاری و کششی در پذیرفته شدن آن در دستورالعمل‌های طراحی [35] بدین خاطر است که همواره پاسخ نیرویی روش حاضر، کوچک‌تر یا مساوی با سطح پاسخ حقیقی هستند. به عبارتی سطح پاسخ روش دستک فشاری و کششی در حالت حد پایین (Lower Bound) قرار دارد [11-16].

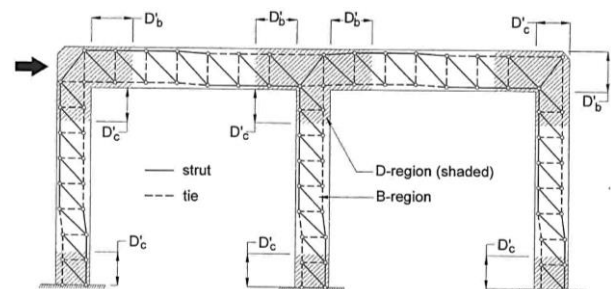
وجود دانش مهندسی مبتنی بر جزئیات لرزه‌ای، جزئیات آرماتورگذاری، مسیر نیرویی و مکانیزم‌های خرابی برای نواحی پرتنش، زمینه‌ساز مدل‌های دستک فشاری و کششی غیر خطی می‌گردد. این توسعه زمانی اتفاق می‌افتد که شرایط مختلف مکانیزم‌های خرابی در مدل خرابایی در نظر گرفته شده باشد. با استفاده از دو روش زیر می‌توان توزیع مسیر نیرویی مرتبط با پاسخ غیر الاستیک سازه در نظر گرفت: (۱) استفاده از مصالح غیر خطی؛ برای مثال هوانگ و لی [24] یک مدل دستک فشاری و کششی بر اساس آیین‌نامه [35] ACI 318 پیشنهاد دادند که در مصالح آن از رفتار غیر خطی بتن استفاده شد. (۲) پتانسیل غیر خطی در طرح مدل و استفاده از اعضای قادر به پیش‌بینی مکانیزم‌های خرابی؛ مثلاً استفاده از اعضای کششی در دستک فشاری بطری شکل برای بررسی اثر ترک (۰).



شکل ۲ دستک فشاری بطری شکل: (الف) مدل دستک فشاری و کششی آن، (ب) ترک‌خوردگی دستک بطری شکل [35] ACI 318-14

در مدل‌سازی به روش دستک فشاری و کششی اعضای مدل به وسیله گره‌های واقع در انتهای خود به یکدیگر متصل می‌شوند و تعادل نیرو را برقرار می‌کنند. بخش‌هایی از مدل اصلی که تحت کشش هستند و تنش‌های کششی را منتقل

با استفاده از تلفیق بینش مهندسی در مدل خرابایی واقع‌بینانه و نتایج تحلیل، سهم آرماتورها در مقاومت برشی تعیین گردید. پس از آن پژوهشگران تلاش‌های فراوانی در زمینه توسعه مکانیزم‌های خراباگونه از قبیل مدل خرابای پلاستیسیته، مدل خرابای سازگاری مور و مدل دستک فشاری و کششی، انجام دادند. از میان این سه مدل خراباگونه، تنها مدل دستک فشاری و کششی می‌تواند برای مناطقی که کرنش در آن غیر خطی می‌باشد، مورد استفاده قرار بگیرد. مطابق (۰) نواحی کرنش غیر خطی به آن نواحی اطلاق می‌شود که بار یا ناپیوستگی‌های هندسی باعث توزیع نامنظم تنش و کرنش درون سطح مقطع می‌شود و از آن به عنوان مناطق آشفته تنشی (Disturbed Regions (D-Regions) یاد می‌شود. همچنین مناطقی که فرض می‌شود توزیع تنش‌های داخلی و کرنش‌ها به صورت منظم می‌باشد و بر اساس روش‌های مکانیک جامدات می‌تواند مورد تحلیل قرار گیرد، مناطق برنولی (B-region) نامیده می‌شود.



شکل ۱ مناطق B و D در مدل دستک فشاری و کششی قاب دو دهانه بتن‌آرمه [21]

در سه دهه گذشته مدل دستک فشاری و کششی مورد توجه ویژه‌ای قرار گرفته است و از آن به عنوان منطقی‌ترین روش سازه برای تحلیل نواحی آشفته (D-) استفاده می‌شود. همچنین از این تکنیک برای تحلیل رفتار برشی نواحی برنولی (B-) در نظر گرفته می‌شود (هوانگ [24]، پارک [25]، کاسم [18]، پالتا [26] و حسن [27] هوانگ [28,29]، ژانگ [30] و چتچوتیسک [31,32]). بسیاری از پژوهشگران [33,34] نتایج تحلیل‌های اجزای محدود و مسیر نیرویی به دست آمده از آن را پیشینه رسیدن به مدل خرابای ایدئال به روش دستک فشاری و کششی قرار داده‌اند. با استفاده از مدل دستک فشاری و کششی ظرفیت نواحی آشفته (D-) سازه تعیین می‌گردد و طراح

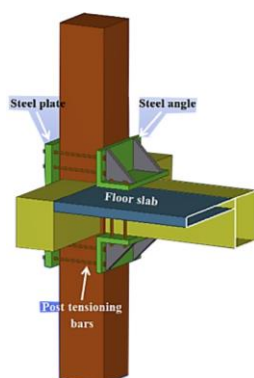
این روش قطعات بیرون زده از ژاکت بتنی را تولید می کند، که باعث کاهش فضای قابل استفاده در کف می شود و ممکن است در بسیاری از موارد آن را از نظر معماری غیر قابل قبول کند. با معرفی مواد پلیمری مسلح شده با الیاف (Fiber Reinforced Polymers (FRP)، تکنیک های بسیاری برای افزایش مقاومت برشی اتصالات تیر - ستون بتن آرمه در نظر گرفته شده است. این روش نیازمند دسترسی کامل به محل پیرامون اتصال تیر - ستون است که غالباً به علت عدم باز شو و محصور شدگی دال چالش های بالقوه ای را به وجود می آورد و نمی تواند سختی دورانی محل اتصال را تقویت کند [37-44].

شفائی و همکاران [1,45] مطابق (۰) یک روش نوآورانه با عنوان بزرگ کردن ناحیه اتصال تیر - ستون با استفاده از قطعات فولادی برای بهسازی اتصالات پیشنهاد و آزمایش کردند. در این روش بهسازی دیگر نیازی به تخریب قسمت های اطراف اتصال از جمله دال نمی باشد و به عبارتی معمار پذیر است. از آنجا که در این تکنیک از مواد متعارف استفاده می شود و با سهولت در اجرا همراه است؛ لذا در مقایسه با سایر تکنیک ها ارزان قیمت می باشد. در این روش تقویتی مانند سایر روش های تقویتی با بزرگ کردن ناحیه اتصال و تعریف مسیر نیرویی جدید، تقاضای تنشی ناحیه اتصال کاهش می یابد و در کنار پایداری قابل توجه ادوات تقویتی در طول تشکیل مفصل پلاستیک در تیر، حفاظت برشی از ناحیه اتصال آسیب پذیر تضمین می گردد.

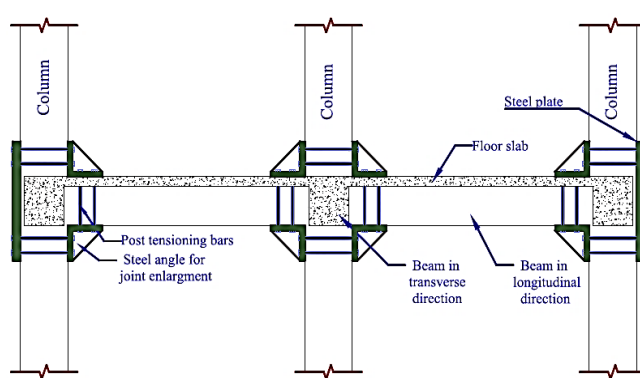
می کنند، در مدل دستک فشاری و کششی توسط دستک های کششی در موقعیت آرماتورهای تحت کشش در نظر گرفته می شوند و نیروهای فشاری، عمده تنش ها از طریق دستک های فشاری بتنی منتقل می شوند. مطابق با مدل های تحقیقات پیشین [21] در محل هایی که مدل هر دو نیروهای فشاری و کششی را تجربه می کند از دستک فشاری و کششی به صورت هم زمان استفاده شد و زمانی که دستک ها تحت فشار هستند، دستک با خصوصیات بتنی و دستک با خصوصیات فولادی هر دو در انتقال تنش های فشاری مشارکت دارند و هنگامی که دستک ها تحت کشش قرار می گیرند دستک با خصوصیات بتنی به علت در نظر گرفتن رفتار غیر خطی در مصالح آن، ترک می خورد و تنش های کششی توسط دستک های از جنس فولاد منتقل می شود.

مقاوم سازی لرزه ای اتصال با استفاده از بزرگ کردن ناحیه اتصال

تحقیقات گسترده ای برای بهبود عملکرد لرزه ای اتصالات تیر □ ستون انجام شده است. اما توجه کمتری به تکنیک های عملی برای اصلاح لرزه ای اتصالات فاقد جزئیات لرزه ای شده است. اغلب این روش ها با هدف بهبود ظرفیت برشی اتصال و اطمینان از تشکیل مفصل پلاستیک در تیر صورت گرفته است. مقاوم سازی اتصالات تیر - ستون بتن آرمه با استفاده از روکش های بتنی یکی از تکنیک های متداول است [36]. اما در



(ب) نمای سه بعدی



(الف) نمای پلان

شکل ۳ نمایی از مقاوم سازی اتصالات بتن آرمه با استفاده از نبشی های فولادی [45]

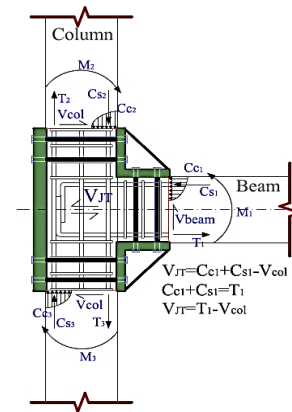
(Reference source not found.) بر اساس جهت لنگر و برش ایجاد شده در ستون‌ها و تیر اطراف ناحیه اتصال، بلوک تنشی در ناحیه اتصال تقویت نشده (بدون خاموت عرضی) به وجود می‌آید. با استفاده از جهت تنش‌های اصلی (و بار محوری ستون) یک دستک فشاری قطری اصلی معرفی می‌شود. مؤلفه افقی نیروی جریان پیدا کرده در دستک فشاری اصلی، به عنوان مقاومت برشی اتصال شناخته می‌شود. با اضافه کردن نبشی‌های فولادی در اطراف اتصال به گونه‌ای که لغزش در سطح تماس نبشی‌ها و بتن ایجاد نگردد، بلوک تنشی مشابه با جریان نیرو در ناحیه اتصال، برای بخش‌های محصور شده ستون‌ها و تیر اتفاق می‌افتد. به عبارتی جهت دستک‌های مورب فشاری در نواحی محصور شده در تیر و ستون بالا و ستون پایین تغییر جهت می‌دهد و هم‌جهت با دستک فشاری اصلی در ناحیه اتصال می‌گردد. بدین ترتیب بخش‌های جدیدی در ظرفیت برشی اتصال مشارکت می‌کنند و از تمرکز تنش و تقاضای نیرویی در ناحیه مشترک کاسته می‌شود.

معرفی نمونه‌های آزمایشگاهی برای صحت‌سنجی مدل تحلیلی

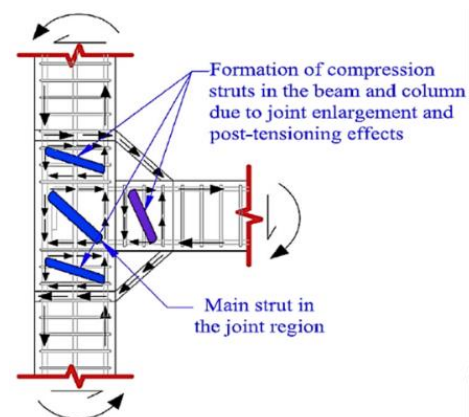
اتصالات مورد بررسی در این پژوهش برگرفته از نمونه‌های آزمایشگاهی شفائی و همکاران [45,46] می‌باشد. دو دسته کلی اتصالات مرسوم پیش از تقویت و دسته اتصالات تقویت شده را مورد مطالعه تجربی قرار دادند.

اتصالات پیش از تقویت

اتصالات بتن‌آرمه مورد بررسی، بر اساس جزئیات لرزه‌ای و جزئیات متداول غیرلرزه‌ای در ساخت گذشته به سه دسته تقسیم می‌شود. نمونه اول با جزئیات لرزه‌ای در نظر گرفته شد که بر اساس استانداردها دارای خاموت کافی در ناحیه اتصال و گیرداری آرماتورهای طولی تیر می‌باشد (C1). نمونه‌های بدون جزئیات لرزه‌ای (که بسیاری از اتصالات موجود را پوشش می‌دهد) شامل فقدان خاموت ستون در ناحیه اتصال هستند (C2) و در نمونه آخری علاوه بر ضعف قبلی، آرماتور مثبت تیر نیز در ناحیه اتصال امتداد پیدا نکرده است (C3). این سه نمونه با ابعاد هندسی مشابه به همراه مونتاژ نمونه‌ها در ۰ نشان داده می‌شود.



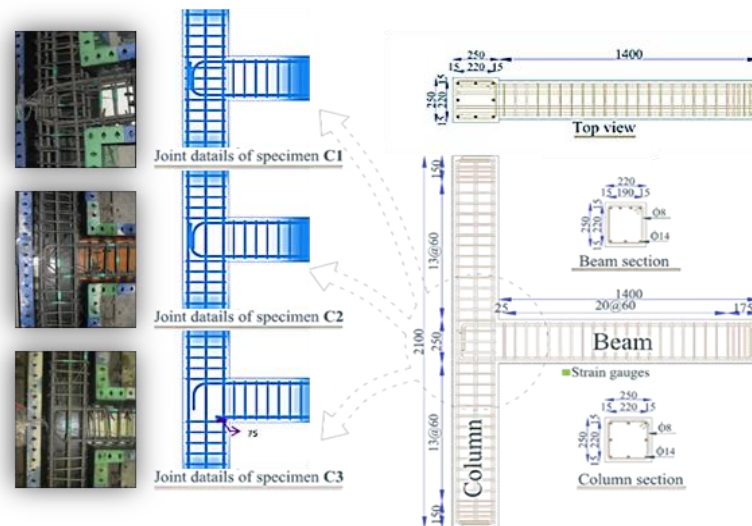
(الف) افزایش مشارکت در نیروی برشی مقاوم اتصال



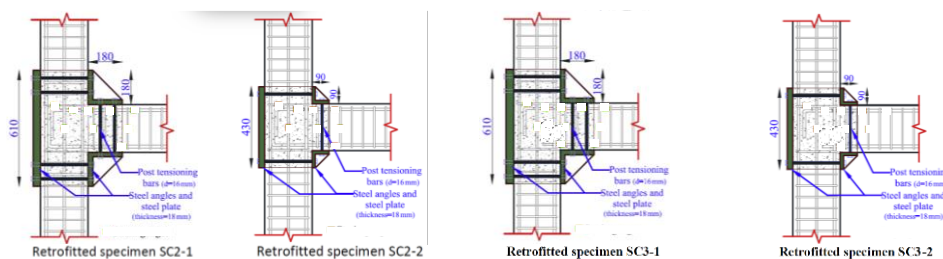
(ب) دستک قطری فشاری توسعه یافته

شکل ۴ مکانیزم انتقال بار اتصالات تیر - ستون توسعه یافته [45]

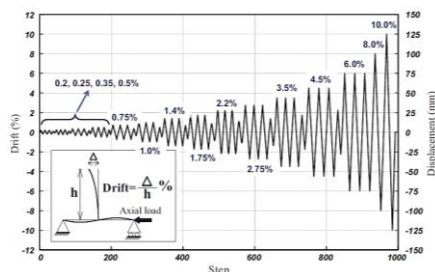
اضافه کردن نبشی‌ها و ورق فولادی به اطراف ناحیه مشترک در صورت حفظ پیوستگی با سطح بتن، مطابق **Error!** (Reference source not found.) قادر است بخش‌هایی از تیر و ستون را به ظرفیت برشی ناحیه اتصال اضافه کند. قبل از تقویت و توسعه اتصال، سطح مقاوم برشی به اندازه سطح ستون می‌باشد و بعد از تقویت اتصال، سطح مقاوم برشی گسترش می‌یابد. بدین صورت تقاضای تنش برشی و تمرکز نیرو در ناحیه مشترک کاهش می‌یابد و رویکرد بزرگ کردن ناحیه اتصال تحقق می‌یابد. در این حالت زیر سازه قادر است برش متناظر با حداکثر ظرفیت خمشی تیر را از محل اتصال توسعه یافته منتقل کند. یکی از دستاوردهای مدل‌های دستک فشاری و کششی برای نواحی آشفته تنشی مانند ناحیه اتصال تیر - ستون، بررسی مسیر نیرویی بر اساس ظرفیت مواد بتنی و فولادی در انعکاس دستک‌های کششی و فشاری می‌باشد. مطابق **Error!**



شکل ۵ ابعاد و جزئیات آرماتورگذاری نمونه‌های تقویت نشده آزمایش (ابعاد به میلی‌متر) [1]



الف) ابعاد و جزئیات نمونه‌های آزمایش



ج) پروتکل بارگذاری چرخه ای جانبی



ب) راه اندازی آزمایش

شکل ۶ ابعاد و جزئیات آرماتورگذاری نمونه‌های تقویت شده آزمایش (ابعاد به میلی‌متر) [1]

اتصالات تقویت شده

برای اتصالات دارای ضعف‌های لرزه‌ای اشاره شده قبلی (C2) و (C3)، نمونه‌های تقویت شده با نبشی‌های ۱۸۰ mm، ۱۴۰ mm و ۹۰ mm در نظر گرفته می‌شود. جزئیات مدل‌های عددی اتصالات تقویت شده در ۰) مشخص شده است. نمونه‌های آزمایشگاهی از نبشی‌های با ضخامت ۱۸ mm و ورق فولادی ۱۸ mm با عرض ۴۰۲ mm و میله‌های پیش‌تنیده فولادی با قطر ۱۶ mm استفاده شد. صفحه‌ی فولادی و نبشی‌های بالا و پایین تیر با استفاده از سخت‌کننده‌های تعبیه شده، صلب باقی می‌مانند.

مدل‌سازی اتصالات قبل و بعد از تقویت

مدل‌سازی به روش دستک فشاری و کششی برای اتصالات تیر - ستون شامل سه نوع از اتصالات موجود شامل اتصالات دارای جزئیات لرزه‌ای (C1)، اتصالات بدون جزئیات لرزه‌ای با ضعف فقدان خاموت در ناحیه اتصال (C2) و اتصالات بدون جزئیات لرزه‌ای با ضعف فقدان خاموت و عدم گیرداری کافی آرماتور مثبت تیر در ناحیه اتصال (C3) در نظر گرفته شد. تمامی اتصالات در نظر گرفته شده بر اساس نمونه‌های

اتصال دهنده مفصلی (Join Connector Section) مطابق (۰) مدل سازی شد. مزیت استفاده از المان های Beam توانایی در اختصاص پروفیل های متنوع در نرم افزار می باشد. برای تحلیل غیر خطی مدل از روش استاتیکی استفاده شد و برای هر عضو، یک المان در نظر گرفته شد.

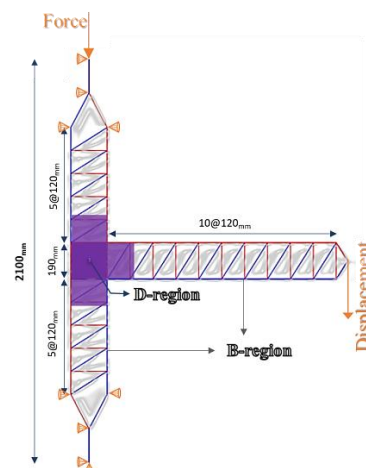


شکل ۸ اتصال دهنده مفصلی در نرم افزار آباکوس

خصوصیات مصالح

برای تمامی مصالح استفاده شده در مدل دستک فشاری و کششی رفتار غیر خطی مطابق با نمونه های آزمایشگاهی در نظر گرفته شد و در محیط اجزای محدود صحت سنجی صورت گرفت. خصوصیات مکانیکی مصالح فولادی مطابق با نمونه های آزمایشگاهی و مدل های اجزای محدود در * معرفی می شود. فولاد نرمه ساختمانی در کشش و فشار رفتار تقریباً مشابه دارد. رفتار کششی تک محوری آرماتورهای فولادی و سایر قطعات فولادی در ناحیه الاستیک بر اساس مدول ینگ متعارف ($E_s = 2 \times 10^5 \text{ MPa}$) و نسبت پواسن $\nu = 0.3$ در نظر گرفته شد. رفتار پلاستیک آرماتورها بر اساس رفتار دو خطی تعریف شد. برای تحلیل های یک طرفه صورت گرفته در مدل های دستک فشاری و کششی از آنجا که الگوی رشد سطح تسلیم با معیار تسلیم نخستین، تشابه دارد؛ لذا نوع سخت شدگی آرماتورها، ایزوتروپیک در نظر گرفته شد.

آزمایشگاهی شفائی و همکاران [1,45] مدل سازی شده است. برای تحلیل های غیر خطی مدل های ماکرو از نرم افزار اجزای محدود آباکوس استفاده شد. تحلیل به بارگذاری یک طرفه محدود شد و به گونه ای که نیروی اعمال شده به مدل ها یک بار در جهتی می باشد که دستک های بالای تیر در کشش قرار می گیرند و نتایج ثبت می گردد و بار دیگر مدل در وضعیت اولیه با جابه جا کردن دستک های بالا و پایین تیر توسط همان نیروها در جهت قبلی اعمال می شود و نتایج ثبت می شود. برای اتصال دارای جزئیات لرزه ای تا دریافت ۶٪ و برای اتصالات دارای ضعف لرزه ای تا دریافت ۴/۵٪ بارگذاری انجام شد. مطابق (۰) بار از نوع جابه جایی کنترل به تیر در راستای عمود بر محور طولی آن در نظر گرفته شد و بار محوری $0.16 A_g f'_c$ به بالای ستون اعمال شد و شرایط مرزی تنها برای دو انتهای ستون ها مطابق (۰) در نظر گرفته شد.



شکل ۷ بارگذاری، شرایط مرزی و ابعاد کلی مدل دستک فشاری و کششی اتصال تیر - ستون

دستک های فشاری و کششی به صورت Wire با المان های دو گرهی B21 در نظر گرفته شد و اتصال بین اعضا با

جدول ۱ خواص مکانیکی فولاد نمونه ها

کرنش نهایی (%)	کرنش تسلیم شدگی (%)	مقاومت نهایی (MPa)	مقاومت تسلیم شدگی (MPa)	قطعات به کار رفته
13	0.20	680	460	Bar 14 mm (ASTM 615G60)
18	0.18	410	350	Bar 8 mm (ASTM 615G40)
60	0.13	360	240	Angles & Steel plate (ST37)
10	-	1000	900	Prestressed bars

در معادلات حاکم بر رفتار ماده تحت تنش سه محوره، رفتار ماده در حالت تک محوره، به خصوص برای سطح تسلیم در نظر گرفته می شود. منحنی تنش- کرنش فشاری بتن از نتایج آزمایش تک محوره بتن حاصل می شود. قسمت ابتدای نمودار تا تنش حد تناسب $0.4 f'_c$ به صورت الاستیک فرض می شود [48]. مدول الاستیسیته مطابق با نمونه های آزمایشگاهی بر اساس رابطه آیین نامه [35] ACI 318 برابر $E_0^{el} = 4700 \sqrt{f'_c}$ (MPa) تعیین می گردد [35]. برای مدل سازی رفتار فشاری بتن از معادلات تورنفلد [49] استفاده شده است (معادلات ۲ تا ۴).

$$\frac{f}{f'_c} = \frac{\epsilon_c}{\epsilon_0} \times \frac{n}{\left[n - 1 + \left(\frac{\epsilon_c}{\epsilon_0} \right)^{nk} \right]} \quad (2)$$

$$n = k = 1 \quad \epsilon_c / \epsilon_0 < 1 \quad (3)$$

$$n = 0.8 + \frac{f'_c}{17}, k = 0.67 + \frac{f'_c}{62} \quad \epsilon_c / \epsilon_0 > 1 \quad (4)$$

که در اینجا: f'_c حداکثر مقاومت فشاری نمونه استوانه ای استاندارد بتن می باشد و بر اساس سیستم متریک قرار داده می شود، ϵ_c کرنش فشاری کل می باشد، ϵ_0 کرنش نظیر حداکثر تنش فشاری بتن می باشد $(\epsilon_0 = 0.00078 [f'_c]^{1/4})$ (MPa). کرنش فشاری غیرالاستیک $[\epsilon_c^{in}]$ برای مشخص کردن رفتار فشاری بتن در برنامه آباکوس مورد استفاده قرار می گیرد که بر اساس معادلات (۵) و (۶) به دست می آید.

$$\epsilon_c^{in} = \epsilon_c - \epsilon_0^{el} \quad (5)$$

$$\epsilon_0^{el} = \frac{f_c}{E_0^{el}} \quad (6)$$

که در اینجا: ϵ_0^{el} کرنش فشاری الاستیک بتن آسیب ندیده می باشد.

در برنامه آباکوس رفتار کششی بتن پس از شکست کششی آن تعریف می شود و فرض می گردد تنش کششی بتن تا کرنشی برابر با ده برابر کرنش نظیر شکست کششی ($10 \epsilon_t'$) به صورت خطی تغییر می کند [50]. منحنی های تنش- کرنش رفتار فشاری و کششی بتن مدل ها در (۰) به همراه مقادیر تنش و کرنش برای نمونه C1 مشخص شده است و همچنین مشخصات مکانیکی بتن به کار رفته در نمونه ها در *ارائه شده است.

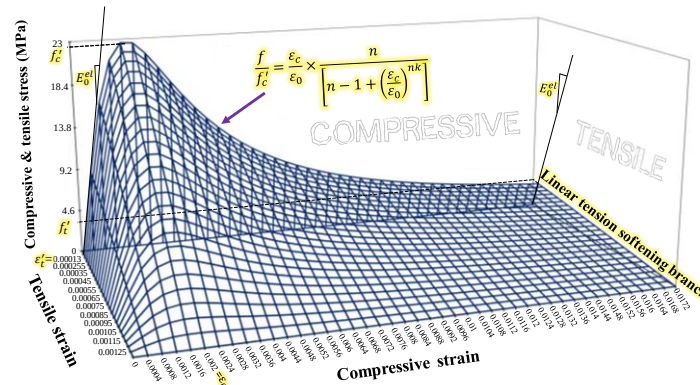
در مصالح بتنی بعد از بارگذاری و باربرداری های مکرر، کرنش های دائمی به علت اصطکاک و ترک های ریز به علت لغزش باقی می ماند که نوعی آسیب را ایجاد می کند. نرم افزار آباکوس، برای شبیه سازی آسیب در مواد بتن مسلح، سه مدل ترک ارائه می کند که عبارتند از مدل ترک پخشی بتن (Concrete Smeared Cracking)، مدل شکست ترد و مدل خسارت- پلاستیک بتن؛ مدل خسارت- پلاستیک بتن تنها مدلی است که در هر دو تحلیل استاتیکی و دینامیکی قابل استفاده است و برای مصالح ترد تحت بارگذاری چرخه ای با امکان بازیابی سختی طراحی شده است. گنیکوم سو و پولاک [47] رفتار دال های بتن مسلح را با استفاده از مدل های CDP در آباکوس مورد مطالعه قرار دادند. نتایج تحقیقاتشان نشان داد که تحلیل اجزای محدودی به رفتار کششی بتن، اندازه مش ها، زاویه اتساع و پارامترهای خسارت بتن حساس می باشد. در این مقاله از مدل های CDP برای مدل سازی سه بعدی اتصالات تیر- ستون بتن مسلح در برنامه آباکوس استفاده می شود. در مدل CDP زوال سختی با تعریف ارتباط بین تنش و تنش مؤثر مدل سازی می شود. با استفاده از آسیب عددی و تنش مؤثر بر اساس معادله (۱) ارتباطی بین خسارت و پلاستیسیتیه ایجاد می شود که مدل تنش- کرنشی را در CDP ارائه می کند.

$$f = (1 - d) E_0^{el} (\epsilon - \epsilon^{pl}) = (1 - d) f' \quad (1)$$

که در اینجا: f تنش است، d متغیر عددی خسارت سختی می باشد (که از صفر تا یک مقدار دارد)، E_0^{el} مدول الاستیسیته اولیه است، ϵ کرنش کل می باشد، ϵ^{pl} کرنش پلاستیک است ($\epsilon = \epsilon^{el} + \epsilon^{pl}$) و f' تنش مؤثر (حداکثر مقاومت فشاری یا کششی بتن) می باشد. آسیب بتن فقط در ناحیه نرم شدگی رخ می دهد و مقدار آسیب در لحظه کرنش نهایی بتن 0.97 فرض شد [47]. پارامترهای اساسی پلاستیسیتیه مورد نیاز در مدل خسارت پلاستیک بتن * مشخص شده است.

جدول ۲ پارامترهای ورودی در مدل CDP

پارامتر ویسکوزیته	k_c	f_{b0}/f_{c0}	خروج از مرکزیت	زاویه اتساع
0.001- 0.01	0.667	1.16	0.1	25



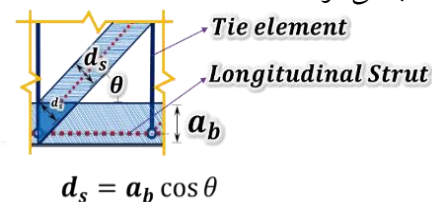
شکل ۹ منحنی تنش- کرنش بتن در کشش و فشار

جدول ۳ خواص مکانیکی بتن نمونه‌ها

نمونه	مقاومت فشاری نمونه استوانه‌ای (MPa)	مقاومت کششی نمونه استوانه‌ای (MPa)	مدول الاستیسیته (MPa)
C1	23.0	3.0	22540
C2	23.3	3.0	22687
C3	24.7	3.1	23500
All SC	25.2	3.1	23594

خصوصیات المان‌ها

دستک‌های فشاری و کششی به سه نوع المان تقسیم‌بندی شدند. المان‌های نوع ۱ به نواحی برنولی (B-) تعلق دارند و شامل دستک‌های کششی عرضی و دستک‌های فشاری مورب می‌باشند که نشان دهنده رفتار مواد فولادی در خاموت‌ها و مواد بتنی در نواحی مورب فشاری تیر و ستون می‌باشد. عرض دستک‌های بتنی مطابق (۰) با استفاده از میانگین عرض نوار دو دستک فشاری ابتدا و انتهای آن و فاصله بین دو دستک کششی عرضی محاسبه می‌شود.

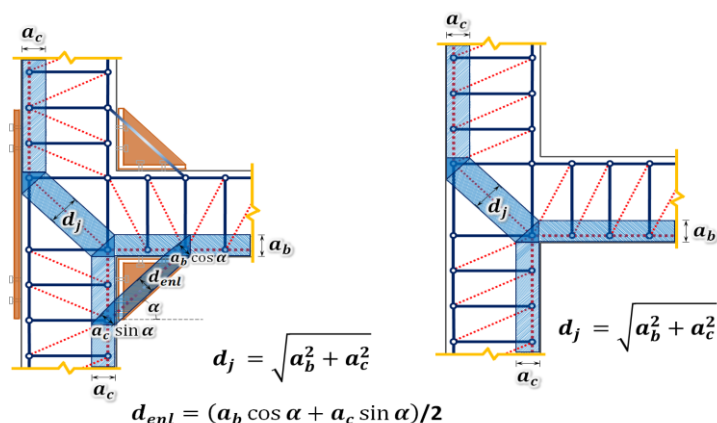


شکل ۱۰ عرض دستک‌های فشاری در نواحی تیر و ستون

تنش‌های فشاری و کششی در راستای طولی تیر و ستون را حمل می‌کنند. مصالح فولادی از منشأ آرماتورهای طولی تیر و ستون با سطح مقطع معادل به دست می‌آید. سطح مقطع دستک‌های بتنی بر اساس سطح بلوک تنش ویتنی در بتن فشاری تعیین می‌شوند و پیرامون دستک‌های کششی طولی قرار می‌گیرند.

توده‌های بتنی تحت فشار و آرماتور فولادی تحت کشش در نواحی آشفته (D-) و همچنین دستک‌های تقویتی در مدل‌های تقویت‌شده از نوع ۳ می‌باشند. دستک‌های فولادی بر اساس سطح مقطع فولاد اندازه‌گیری می‌شوند و دستک‌های بتنی بر اساس تناظر هندسی بین دو دستک فشاری قبل و بعد از آن مطابق (۰) مشخص می‌شوند. المان‌های نوع ۳ برای هر مدل با توجه به جزئیات آن از الگوی مختصی برخوردار است و با ظرفیت کششی و فشاری خود رفتار نهایی اتصال را تشکیل می‌دهد. جزئیات بیشتر المان‌ها در ۰ و شکل (۱۲) مشخص شده است.

المان‌های نوع ۲ پاسخ‌های خمشی سازه در نواحی برنولی (B-) را مشخص می‌کنند. این المان‌ها از دستک‌های فشاری بتن و فولاد و دستک‌های کششی بتن و فولاد تشکیل می‌شود.



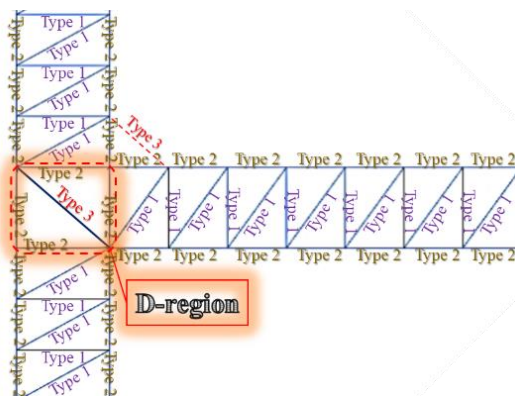
(ب) اتصال تقویت شده

(الف) اتصال موجود

شکل ۱۱ عرض دستک های فشاری در ناحیه اتصال

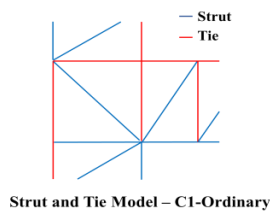
جدول ۴ مشخصات دسته بندی نوع المان دستک های فشاری و کششی

دسته بندی المان	المان مدل	سطح	سختی الاستیسیته (MPa)	مشخصه تنش - کرنش
۱	دستک فشاری قطری بتنی	بر اساس عرض دستک های اطراف	۲۲۵۴۰ (بر طبق نتایج آزمایشگاهی)	بر اساس معادلات تورنفلد
	دستک کششی خاموت عرضی	$A_v = V_n / f_{vy}$	۲۰۰۰۰۰ (بر طبق نتایج آزمایشگاهی)	بر اساس رفتار دو خطی فولاد و سخت شوندگی ایزوتروپیک
۲	دستک کششی بتنی	بر اساس ارتفاع بلوک فشاری و بتنی	۲۲۵۴۰ (بر طبق نتایج آزمایشگاهی)	بر اساس معادلات تورنفلد
	دستک کششی آرماتور	همانند سطح مقطع میلگرد در منطقه	۲۰۰۰۰۰ (بر طبق نتایج آزمایشگاهی)	بر اساس رفتار دو خطی فولاد و سخت شوندگی ایزوتروپیک
۳	دستک فشاری بتنی در ناحیه D	بر اساس عرض دستک های اطراف	۲۲۵۴۰ (بر طبق نتایج آزمایشگاهی)	بر اساس معادلات تورنفلد
	دستک کششی فولادی در ناحیه D	همانند سطح مقطع فولاد در ناحیه	۲۰۰۰۰۰ (بر طبق نتایج آزمایشگاهی)	بر اساس رفتار دو خطی فولاد و سخت شوندگی ایزوتروپیک



شکل ۱۲ تخصیص نوع المان ها در مدل دستک فشاری و کششی

اما از آنجا که در این مدل ساده عرض دستک فشاری اصلی قطری، سطح مقطعی برابر با سه تا دستک فشاری متصل به یک گره در این ناحیه دارد، در انتقال تنش‌های مؤثر و سختی مدل تفاوت چندانی به وجود نمی‌آید. با این وجود مدل یک دستک فشاری در اتصال نیز برای مقایسه نتایج مطابق (۰) در نظر گرفته شد.

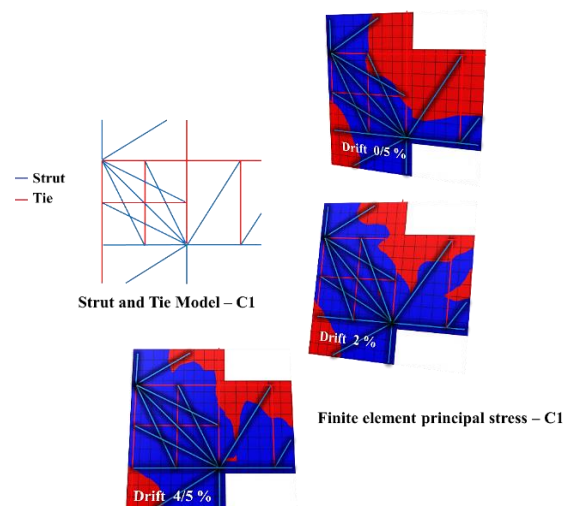


شکل ۱۴ مدل دستک فشاری و کششی اتصال C1 با یک دستک فشاری اصلی در ناحیه اتصال

مدل اتصال با جزئیات غیر لرزه‌ای - عدم حضور تنگ در ناحیه اتصال - C2. عدم وجود خاموت، عدم وجود دستک کششی در ناحیه درون صفحه مشترک محصور شده با آرماتورهای طولی تیر و ستون را همراه داشته است. به عنوان صریح‌ترین انتخاب می‌توان مدل پیشنهادی C1 برای حالت غیر خطی را برای C2 در نظر گرفت و تنها مکانیزم مربوط به حضور خاموت را در آن حذف کرد. این مدل با نام مدل C2 مبتنی بر C1 در نظر گرفته شد. در نمونه غیر لرزه‌ای C2، حذف خاموت و گسترش رفتار خارج از الاستیک اتصال، انتظار جاری شدن آرماتور طولی تیر و تشکیل مفصل پلاستیک در تیر را به چالش می‌کشد. لذا در خرابی غیر خطی ایدئال برای چنین نوع گسیختگی باید در نواحی کرنش غیر خطی اتصال متمرکز شد. برای پیدا کردن خرابی‌های ایدئال، نتایج تحلیل خطی اجزای محدود کمک زیادی می‌کند. رفتار چرخشی و انحنای تیر و لغزیدن آرماتورهای کششی تیر در بر اتصال و درون اتصال همگی از جمله موارد شناسایی تغییرات ظاهری اتصال در ایجاد پاسخ‌های نهایی می‌باشد. رفتار قاب چشمه اتصال در مدل دستک فشاری و کششی برای دریافت پاسخ زوال ظرفیتی بعد از پلاستیک شدن دستک فشاری اتصال (وقوع ترک و گسترش آن) نیازمند شکست در وسط اضلاع می‌باشد. به عبارتی دیگر گسترش خرابی در اتصال به واسطه زوال و خسارت دستک فشاری اتصال (بتن) ارتباط پیدا می‌کند و کاهش طول و جمع‌شدگی قطر نیازمند تبدیل شکل چهارگوشه اتصال به یک

موقعیت دستک‌ها بر اساس مسیر نیرویی اجزای محدود اتصالات پیش از تقویت

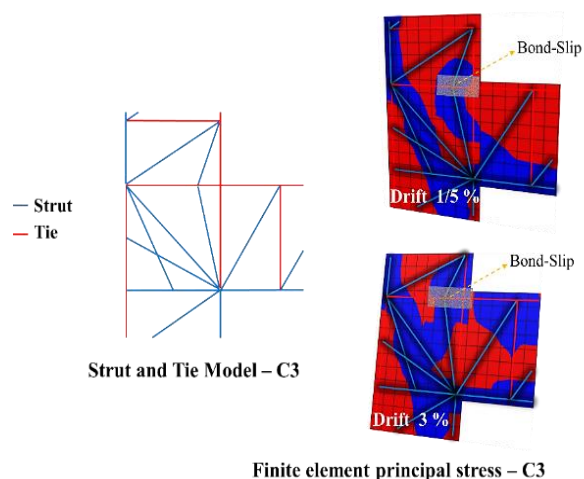
مدل اتصال با جزئیات لرزه‌ای - C1. برای اتصال دارای جزئیات لرزه‌ای از قبیل خاموت در ناحیه اتصال و خم استاندارد آرماتورهای طولی تیر در ناحیه اتصال از مدل دستک فشاری و کششی مطابق (۰) استفاده شد. این مدل مشابه تحقیقات کاسم [18] از سه مجموعه دستک‌های فشاری برای ناحیه اتصال استفاده شد. تحت اثر بار لرزه‌ای پتانسیل ترک‌خوردگی کششی در طول دستک فشاری قطری اتصال توسعه پیدا می‌کند. لذا برای مقاومت در برابر این نوع گسیختگی به مشارکت آرماتورهای افقی و قائم در اتصال نیاز می‌باشد. با این شرایط مسیرهای نیرویی مناسبی از طریق دستک فشاری قطری و دستک‌های با شیب زیاد و کم پیش‌بینی می‌شود. دستک کششی افقی به وسیله خاموت‌های ناحیه اتصال (که در اینجا معادل با ۶ تا آرماتور ۸ Φ) اثر داده می‌شود و دستک کششی قائم به وسیله آرماتورهای میانی ستون (که در اینجا معادل با ۲ تا آرماتور ۱۴ Φ) در میانه اتصال در نظر گرفته می‌شود.



شکل ۱۳ مدل دستک فشاری و کششی و وضعیت تنش‌های به دست آمده از تحلیل اجزای محدود برای ناحیه اتصال C1

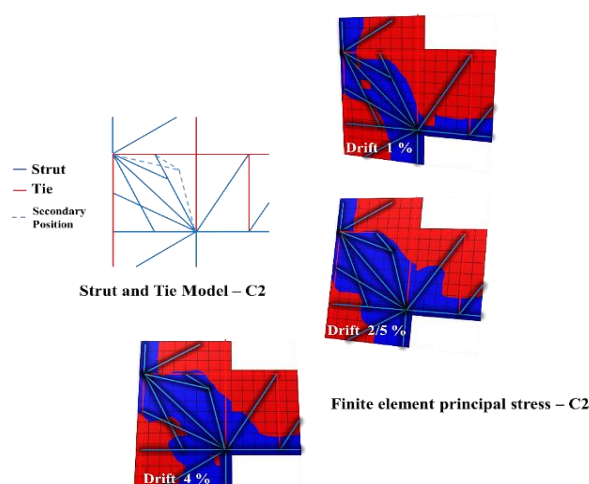
در صورتی که از یک دستک فشاری قطری برای اتصال استفاده گردد تعادل در گره‌های دو طرف دستک کششی مربوط به تأثیر خاموت‌ها در حالت اولیه برقرار نمی‌شود و نمی‌توان تأثیر مقدار خاموت را به صورت مستقیم مورد بررسی قرار داد،

مدل اتصال با جزئیات غیرلرزه‌ای - عدم حضور تنگ و قطع آرماتور مثبت تیر در ناحیه اتصال - C3. در نمونه اتصال غیر لرزه‌ای C3 سهم تغییر شکل‌های ناشی از لغزش آرماتور طولی تیر در اتصال زیاد می‌شود و به علت کافی نبودن گیرداری آرماتور تحت کشش تیر با یک لغزش کلی پیوستگی بین آرماتور و بتن از بین می‌رود. برای ایجاد تأثیرات ناشی از لغزیدن آرماتور مذکور در تغییر شکل‌های زیاد و زوال سختی پس از الاستیک از یک تکنیک استفاده شد. مطابق (۰) دستک فشاری به میانه طول آرماتور قطع شده در ناحیه اتصال در نظر گرفته شد و برای تعادل نیرو و ایجاد بازوی فشاری دو طرفه در هنگام کشیده شدن دستک کششی متصل به آن (نماینده آرماتور قطع شده) در طرف دیگر آن نیز دستک فشاری اضافه گردید (عملکرد گوه‌ای پیوند آرماتور با بتن). از آنجا که مقدار طول گیرداری کافی برای جاری شدن آرماتور مدفون در بتن با قطر آرماتور رابطه مستقیمی دارد، در این مدل به جای آرماتور با قطر اصلی و طول گیرداری ناکافی، از دستک کششی متناسب با آرماتور کاهش یافته استفاده گردید که طول گیرداری آن به اندازه طول موجود و ناکافی آرماتور اصلی می‌باشد. با استفاده از این سطح مقطع کاهش یافته به دست آمده از نسبت طول موجود به طول گیرداری در قطر موجود، دستک‌های کششی در محل امتداد آرماتور قطع شده در ناحیه اتصال لحاظ شد و با جاری شدن و رفتار پلاستیک خود اثرات لغزش را در جابه‌جایی مدل انعکاس می‌دهد.

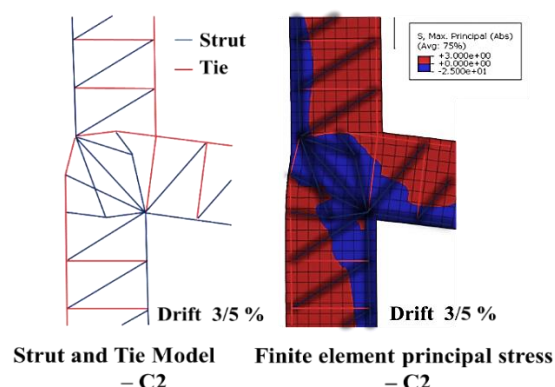


شکل ۱۷ مدل دستک فشاری و کششی و وضعیت تنش‌های به دست آمده از تحلیل اجزای محدود برای ناحیه اتصال C3

شکل چند ضلعی می‌شود. چنین رویکردی در پیدا کردن الگوی مناسب و اقتناع تعادل نیرو منجر به مدل نهایی برای نمونه C2 گردید. با توجه به الگوهای انتقال تنش در (۰) می‌توان مشاهده کرد که تنش‌های فشاری در حوزه اتصال با افزایش دررفت، توسعه یافته است و بخش‌های بیشتری از اتصال را درگیر کرده است و به عبارتی عرض دستک فشاری قطری در ناحیه اتصال بیشتر شده است. وضعیت قرارگیری دستک‌های فشاری در ناحیه اتصال به گونه‌ای می‌باشد که بتواند توسعه تنش را به خوبی پیش‌بینی کند. از طرفی وجود پتانسیل غیر خطی در دستک قطری باعث کاهش مقاومت در ظرفیت تحمل بار اتصال می‌گردد. همچنین چیدمان دستک‌ها با توجه به (۰) نشان می‌دهد که با در نظر گرفتن توانایی تغییر موقعیت در اعضای ناحیه اتصال می‌توان به رفتاری شکل‌پذیر از اتصال و مطابق با تغییر شکل‌های تحلیل مدل میکرووی اجزای محدود، دست یافت.



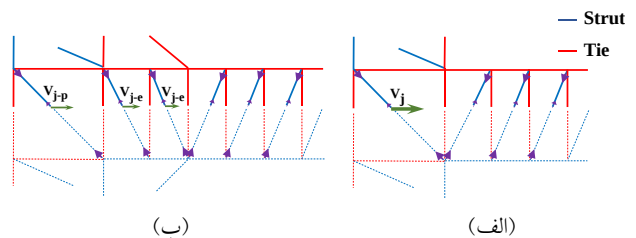
شکل ۱۵ مدل دستک فشاری و کششی و وضعیت تنش‌های به دست آمده از تحلیل اجزای محدود برای ناحیه اتصال C2



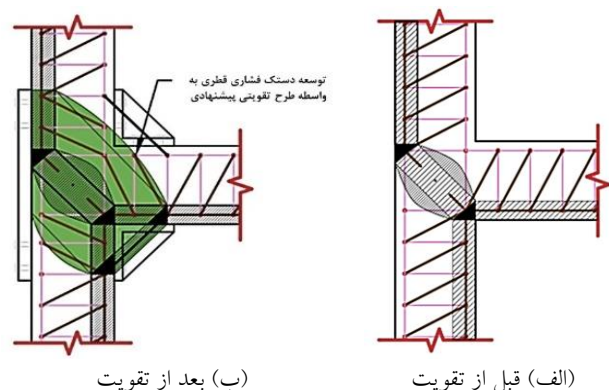
شکل ۱۶ مقایسه تغییر شکل و توزیع تنش‌های فشاری در ناحیه اتصال C2 بین نتایج تحلیل اجزای محدود و STM

اتصالات تقویت شده

پیش‌بینی اعضای دستک فشاری و کششی در مدل دستک فشاری و کششی مبتنی بر مسیر نیروی به دست آمده از تحلیل‌های اجزای محدود می‌باشد. عمده مسیر نیرو در روش تقویت بزرگ کردن ناحیه اتصال، از طریق یک عضو مورب شناسایی می‌شود. تمامی اعضای حقیقی در مدل دستک فشاری و کششی، توسط دو ابزار دستک فشاری یا کششی خرابایی پیش‌بینی می‌شود. دستک اختصاص داده شده به مسیر نیرویی ایجاد شده توسط ادوات فولادی نبشی در کنج‌های اتصال، همان طور که در ۱۰ اشاره شده است، از جنس فولاد و دارای ابعاد معادل با ظرفیت فشاری و کششی آن می‌باشد. با توجه به ۱۰، به علت حفظ تعادل نیرو در گره‌های متصل کننده عضو خرابایی مورب تقویتی اضافه شده، جهت اعضای مورب بخشی از تیر و ستون معکوس می‌گردد. بدین ترتیب نیروی عضو مورب تقویتی، به ستون منتقل می‌شود. نیروی منتقل شده به صورت برشی در ناحیه اتصال توسعه یافته ظاهر می‌گردد و همان طور که در ۱۰ مشاهده می‌گردد، موجب افزایش و توسعه ظرفیت برشی اتصال می‌شود.

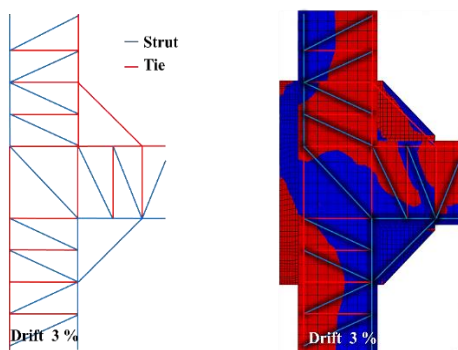


شکل ۱۸ نمایش برش مقاوم در ناحیه اتصال: (الف) قبل از تقویت، (ب) بعد از تقویت



شکل ۱۹ توسعه دستک فشاری در حالت اتصال تقویت شده نسبت به قبل از تقویت

در اتصالات تقویت شده، از آنجا که تمرکز تنش در ناحیه مشترک کمتر از حالت بدون تقویت شده است و مکانیزم خرابی از منشأ ترک‌های قطری و یا لغزش آرماتور مقدم نمی‌شود؛ می‌توان در ناحیه اتصال، مطابق با جزئیات ارائه شده برای مدل C1 از یک دستک فشاری قطری استفاده گردد. در مدل پیشنهادی برای تعیین موقعیت دستک‌های تقویتی بر این اساس عمل شد که ابتدا یک دستک کششی عرضی (مربوط به حضور خاموت) در انتهای بال نبشی‌ها در نظر گرفته می‌شود و از دو گره تلاقی دستک کششی عرضی و اعضای طولی تیر و ستون، دستک‌های مورب تقویتی تشکیل می‌گردد. بدین ترتیب عضو مورب تقویتی نقش کوتاه‌شدگی تیر و ستون را به خوبی حفظ می‌نماید. در شکل (۲۰) خرپای ایدئال مدل دستک فشاری و کششی برای اتصال تقویت شده با نبشی ۱۸۰ mm در کنار نتایج تحلیل اجزای محدود مشخص شده است. مشاهده می‌گردد که مسیر نیرویی واقع‌بینانه‌ای برای اتصالات تقویت شده در نظر گرفته شده است.



Strut and Tie Model - SC2-180 Finite element principal stress - SC2-180

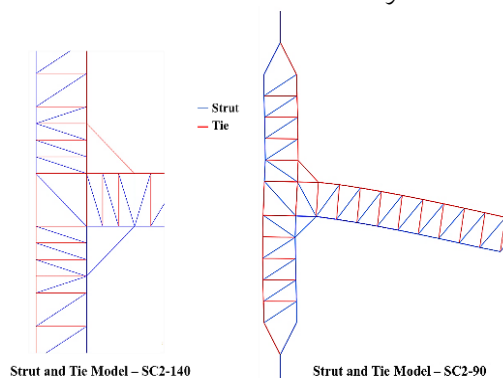
شکل ۲۰ مدل دستک فشاری و کششی و وضعیت تنش‌های به دست آمده از تحلیل اجزای محدود برای اتصال تقویت شده با نبشی ۱۸۰ mm

مدل‌سازی اتصالات تقویت شده با وجود کافی نبودن گیرداری آرماتور مثبت (SC3) عدم امتداد آرماتور با کاهش سطح مقطع مدل‌سازی گردید. به گونه‌ای که به جای آرماتور با قطر اصلی و طول گیرداری ناکافی، از دستک کششی متناسب با آرماتور کاهش یافته استفاده گردید که طول گیرداری آن به اندازه طول موجود و ناکافی آرماتور اصلی می‌باشد. (سطح مقطع کاهش یافته برابر است با نسبت طول موجود به طول گیرداری در قطر موجود). در اتصالات تقویت شده با نبشی‌های

دستک فشاری قطری (STM C1 ordinary) برای نمونه های لرزه ای و با رویکرد غیر خطی نیز می تواند ظرفیت های اتصالات لرزه ای را به خوبی پیش بینی کند. این مدل ۲٪ سختی مؤثر و ۱٪ در تخمین بار نظیر تسلیم شدگی با پاسخ مدل دستک فشاری و کششی پیشنهادی اختلاف ایجاد می کند (۰). در واقع در روش های مبتنی بر نیرو مدل های فراوانی می تواند بررسی گردد که وقتی در مسیر باربری و تقاضاهای نیرویی قرار می گیرند، پاسخ های مشابه و فرضا نزدیکی به واقعیت نتیجه می دهد. اما در رویکرد غیر خطی، هر چه مدل رفتارهای مرتبط با نوع گسیختگی را بهتر و مطابق با واقعیت پیش بینی کند، مدل در نظر گرفته ایدئال تر، واقع بینانه تر و بهینه تر می باشد. برای رسیدن به خرپاهای ایدئال، شناخت دقیقی از مکانیزم های غیر خطی نیاز است. در اتصالات لرزه ای نکته قابل توجه مکانیزم تشکیل مفصل پلاستیک در تیر می باشد و از طرفی انتظار توسعه ترک در ناحیه اتصال وجود ندارد. در مدل دستک فشاری و کششی غیر خطی بررسی جاری شدن آرماتورهای کششی تیر در نزدیکی اتصال و تخمین ظرفیت برشی اتصال از مباحث ایدئال سنجی مختص به این نوع اتصال می باشد.

در شکل (۲۳) تغییرات تنشی آرماتورهای کششی تیر (محل تشکیل مفصل پلاستیک) در طول بارگذاری مشخص گردید. قابل اشاره مجدد می باشد که جابه جایی مثبت مربوط به حالتی است که آرماتورهای تحتانی تیر (۳Φ۱۴) تحت کشش قرار می گیرند و جابه جایی منفی زمانی که آرماتورهای فوقانی با جزئیات ۴Φ۱۴ (آرماتورهای ثقلی) تحت کشیدگی باشند. همان طور که مشاهده می گردد با توجه به تنش تسلیم ۴۶۰ MPa برای آرماتورهای طولی و با توجه به رعایت ملزومات لرزه ای برای جلوگیری از گسیختگی برشی و خرابی های پیش رونده در ناحیه بحرانی، آرماتورها در هر دو جهت بارگذاری به سطح تسلیم خود می رسند. در این حالت دوران مفصل پلاستیک تیر از افزایش سهم چرخش اتصال در تغییر طول کل انتهای تیر (محل بارگذاری نمونه) می کاهد. حضور چهار عدد آرماتور کششی (۳Φ۱۴) در حالت جابه جایی در جهت منفی با افزایش سختی خمشی تیر، وقوع جاری شدگی نسبت به حالت کشش در سه عدد آرماتور (۳Φ۱۴)، به تأخیر می افتد و در دریفتهای بالاتر به سطح تسلیم می رسد.

فولادی، اندازه های مختلف نبشی بر میزان گسترش اتصال و محصورشدگی تأثیر مستقیم می گذارد. با کاهش اندازه نبشی تقویتی، دستک های تقویتی موقعیت کوچک تری از تیر و ستون را درگیر چرخش نیرو در جهت افزایش ظرفیت تحمل نیرو می کند و در پی آن تقاضاهای نیرویی ناحیه اتصال را بیشتر می کند. در شکل (۲۱) مدل های تقویت شده با نبشی های مختلف برای مثال دو نمونه SC2-140 و SC2-90 قابل مشاهده می باشد. وجود تفاوت در موقعیت دستک های مدل های غیر خطی دستک فشاری و کششی به واسطه تغییر اندازه نبشی را می توان مشاهده کرد.



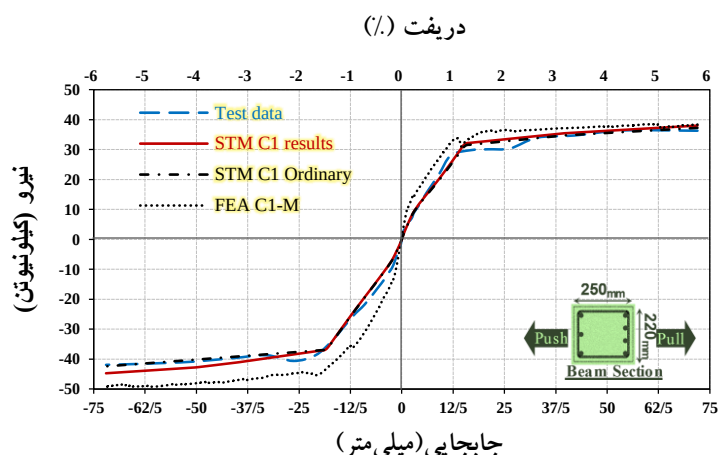
شکل ۲۱ مدل دستک فشاری و کششی نمونه های تقویت شده با نبشی های ۹۰ mm و ۱۴۰ mm

بررسی نتایج مدل دستک فشاری و کششی اتصالات قبل از تقویت

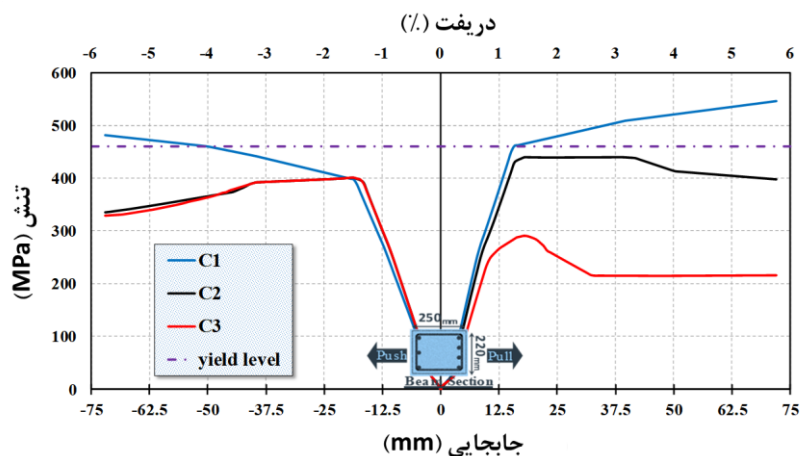
اتصال لرزه ای C1. نتایج بار- تغییر مکان تحلیل به روش دستک فشاری و کششی به همراه نتایج مدل اجزای محدود و نتایج آزمایشگاهی برای اتصال لرزه ای C1 در شکل (۲۲) قابل مشاهده می باشد. مقادیر سختی بار نظیر تسلیم شدگی و شکل پذیری در کنار درصد اختلاف نتایج مدل دستک فشاری و کششی، مدل اجزای محدود و نتایج آزمایشگاهی برای تمامی نمونه های غیر تقویتی در ۰ ثبت گردید. درصد اختلاف کم (۸٪) سختی مؤثر و اختلاف ناچیز (۰,۰۱٪) بار نظیر تسلیم شدگی مدل غیر خطی دستک فشاری و کششی نسبت به نتایج آزمایشگاهی نشان می دهد که مدل ایدئال غیر خطی دستک فشاری و کششی در پیش بینی ظرفیت نیرویی و شکل پذیری در قالب تحلیل های مونوتونیک به خوبی عمل می کند. استفاده از روش دستک فشاری و کششی بر اساس مکانیزم

جدول ۵ بار نظیر تسلیم شدگی، سختی مؤثر، شکل پذیری و درصد اختلاف نتایج STM با نتایج آزمایشگاهی و FEA برای نمونه های تقویت نشده و تقویت شده با نبشی فولادی

نمونه	راستای بارگذاری	نیروی حداکثر (kN)	اختلاف مقایسه (%)		جابجایی نظیر نیروی تسلیم شدگی (mm)	سختی مؤثر (kN/mm)	میانگین درصد خطا	جابجایی نظیر ۲۰٪ افت نیروی حداکثر	ضرب شکل پذیری	متوسط ضریب درصد خطا
			با نتایج تجربی	با FEA						
تقویت نشده	STM-C1-(idealized truss)	Push -38	0.0	11.6	-18.67	2.04	8	-72	3.86	8
		Pull 32	0.0	5.9	14.67	2.18		72	4.91	
	STM-C1-(ordinary)	Push -37	2.6	14.0	-18	2.06	10	-72	4.00	8
		Pull 31.5	1.6	7.4	15.33	2.05		72	4.70	
	STM-C2-(idealized truss)	Push -37	0.3	4.4	-16.67	2.22	7	-54	3.24	7
		Pull 31	1.0	12.4	14.67	2.11		54	3.68	
	STM-C2-(C1-based)	Push -37	0.3	4.4	-16.67	2.22	7	-54	3.24	7
		Pull 31	1.0	12.4	14.67	2.11		54	3.68	
	STM-C3	Push -41	0.6	6.5	-18.67	2.20	17	-54	2.89	10
		Pull 22	4.3	15.8	12	1.83		22.8	1.90	
	STM-SC2-200	Push -46	-	-	-18.70	2.50	-	-72	3.85	-
		Pull 39	-	-	14.38	2.73		72	5.01	
تقویت شده	STM-SC2-180	Push -46	0.3	19.6	-18.69	2.49	10	-72	3.85	45
		Pull 38	1.3	12.5	14.37	2.68		72	5.01	
	STM-SC2-160	Push -46	-	-	-18.68	2.49	-	-72	3.85	-
		Pull 37	-	-	14.36	2.63		72	5.01	
	STM-SC2-140	Push -46	24	15.5	-18.67	2.49	21	-72	3.85	43
		Pull 37	6	11.7	15.07	2.46		72	4.78	
	STM-SC2-110	Push -46	-	-	-18.64	2.49	-	-72	3.86	-
		Pull 36	-	-	15.76	2.29		72	4.57	
	STM-SC2-90	Push -46	15	9.3	-18.63	2.48	20	-72	3.86	45
		Pull 35	1.4	11.25	16.47	2.15		72	4.37	
	STM-SC2-60	Push -46	-	-	-18.61	2.47	-	-72	3.87	-
		Pull 34	-	-	16.45	2.10		72	4.37	
تقویت شده با نبشی فولادی	STM-SC2-30	Push -44	-	-	-19.32	2.32	-	-72	3.73	-
		Pull 33	-	-	17.16	1.96		72	4.19	
	STM-SC3-180	Push -46	24	21.7	-15.09	3.06	10	-72	4.77	33
		Pull 38	0	15.5	14.36	2.65		72	5.01	
	STM-SC3-90	Push -46	0.3	5.8	-17.91	2.58	16	-72	4.02	34
		Pull 35	7.6	2.45	17.18	2.04		72	4.19	



شکل ۲۲ پاسخ های بار- تغییر مکان نتایج روش STM غیر خطی به همراه نتایج آزمایشگاهی و FEA برای نمونه لرزه ای C1



شکل ۲۳ مقادیر تنش آما تورهای کششی تیر در بر ستون در تغییر شکل کل اتصال برای نمونه های لرزه ای و غیرلرزه ای

مقادیر بیشتری برای ظرفیت برشی اتصال پیش بینی می کند. مقدار ظرفیت برشی به دست آمده در مدل دستک فشاری و کششی ایدئال ۵٪ بیشتر از نتایج مدل اجزای محدود برآورد گردید و درصدهای اختلافی بر اساس روابط محافظه کارانه (۸) تا (۱۱) آیین نامه های مختلف مشخص شده است.

$$V_{jh}^{ACI 318} = \gamma \sqrt{f'_c} \times A_j \quad (8)$$

$$V_{jh}^{ASCE 41} = 0.083 \times \lambda \times \gamma \sqrt{f'_c} \times A_j \quad (9)$$

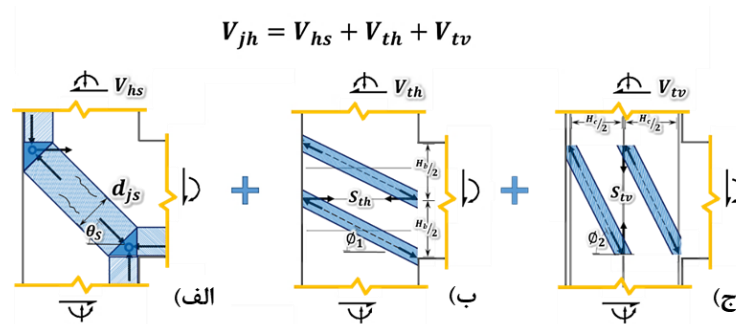
$$V_{jh}^{AIJ} = k\phi \times 0.8(f'_c)^{0.7} \times A_j \quad (10)$$

$$V_{jh}^{مبحث نهم ایران} = 7.5 \times A_j \times 0.2 \times \phi_c \sqrt{f'_c} \quad (11)$$

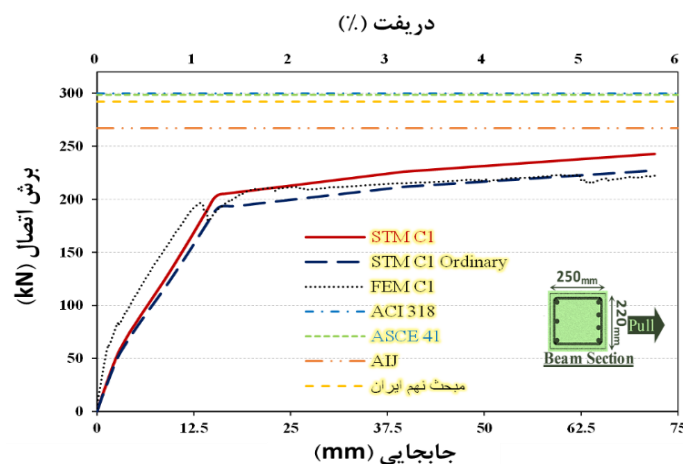
بر اساس شکل (۲۴) مقاومت برشی (مؤلفه افقی) اتصال از جمع مؤلفه های افقی سه مکانیزم در نظر گرفته شده، به دست می آید. بدین صورت یکی دیگر از کاربردهای روش دستک فشاری و کششی برای اتصالات بتن آرمه نمایان می شود و برای هر مؤلفه مقاوم برشی داریم (معادله ۷).

$$V_{hs} = \frac{S_{strut}}{A_{strut} \times f} \cos \theta_s \quad \& \quad V_{th} = S_{th} \quad \& \quad V_{tv} = 2S_{tv} \cot \phi_2 = S_{tv} \cot \theta_s \quad (7)$$

مقادیر ظرفیت برشی افقی اتصال در طول بارگذاری برای مدل های دستک فشاری و کششی سه مکانیزم و تک دستک فشاری مطابق شکل (۲۵) به دست می آید. مدل سه مکانیزم دستک فشاری و کششی نسبت به مدل دستک قطری تنها،



شکل ۲۴ مکانیزم‌های انتقال برش در اتصالات تیر- ستون بتن‌آرمه شامل: (الف) مکانیزم دستک قطری، (ب) مکانیزم اثر خاموت، (ج) مکانیزم اثر آرماتور میانی ستون



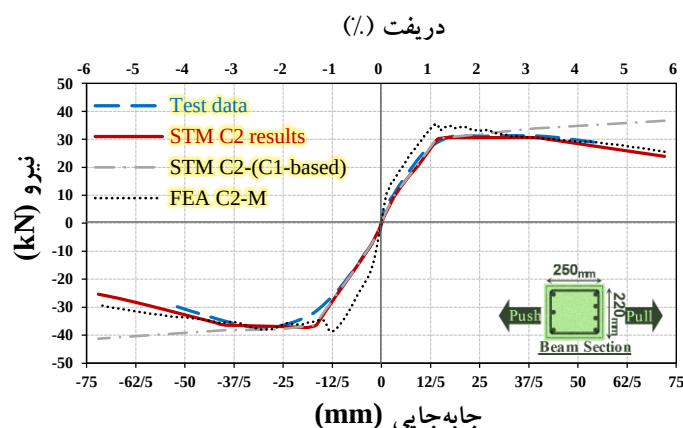
شکل ۲۵ ظرفیت برشی مدل غیر خطی اتصال لرزه‌ای (C1) به دست آمده از روش STM و تحلیل FEM در مقایسه با مقدار نظیر آیین‌نامه‌ها

جدول ۶ مقادیر ظرفیت برش افقی اتصال لرزه‌ای C1 (بدون تیر عرضی) در مدل‌های STM و FEM با درصد اختلافی آن

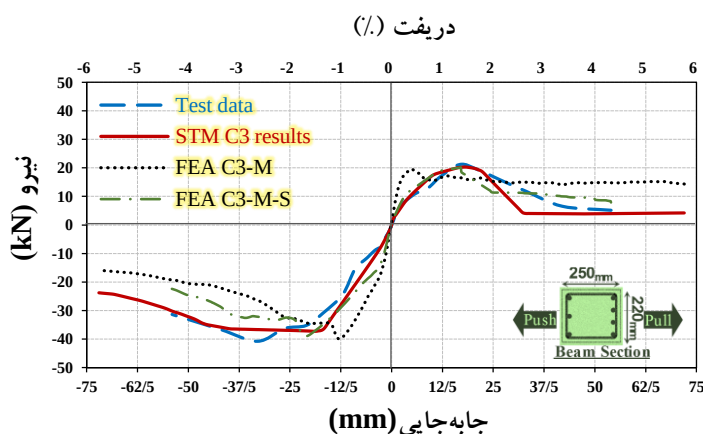
	STM (idealized truss)	STM (ordinary)	FEM	ACI 318 [53]	ASCE 41 [52]	AIJ [51]	مبحث نهم ایران
نیروی برشی اتصال (kN)	209	192	200	299.7	298.5	267	292
درصد اختلاف مدل دستک فشاری و کششی (%) (idealized truss)	—	9	5	30	30	22	28

مبتکرانه و بر پایه مهندسی می‌تواند در جهت اطمینان و با نتایج دقیقی همراه باشد. نتایج مربوط به مدل C2 مبتنی بر C1 در ۰) و ۰+ مشاهده گردید که مقدار بار نظیر تسلیم شدگی و سختی مؤثر این مدل، مشابه مدل پیشنهادی برای C2 نتیجه می‌دهد. این مدل به علت در نظر نگرفتن قابلیت تغییر شکل چشمة اتصال، قادر به پیش‌بینی افت نیرویی اتصال نمی‌باشد. در این مدل با توجه به حذف اعضای مربوط به اثر خاموت و شباهت در سایر جزئیات نمونه C2 و C1، می‌توان نتیجه گرفت سهم مؤثر این اعضا در مقدار افزایش ظرفیت بار، ۲/۵٪ می‌باشد.

اتصال غیر لرزه‌ای C2. با توجه به پاسخ‌های بار- جابه‌جایی در ۰) و مقایسه نتایج سختی مؤثر، بار نظیر تسلیم‌شدگی و شکل‌پذیری در ۰+ نتیجه می‌گردد که مدل غیر خطی دستک فشاری و کششی در تطابق ۹۷/۸۳٪ سختی مؤثر، ۹۹/۴٪ ظرفیت تحمل بار و ۹۴٪ شکل‌پذیری با نتایج آزمایشگاهی برخوردار می‌باشد. این مدل نه تنها نتایج بسیار نزدیک‌تری نسبت به تحلیل‌های اجزای محدود در تطابق با نمونه‌های آزمایشگاهی داشته است، بلکه افت ظرفیت نیرویی این اتصال غیرلرزه‌ای را به خوبی پیش‌بینی می‌کند. چنین تفاوتی در بین دو مدل مختلف ماکرو و میکرو نشان می‌دهد که ساده‌سازی



شکل ۲۶ نتایج بار- تغییر مکان روش STM غیر خطی به همراه نتایج آزمایشگاهی و FEA برای نمونه غیرلرزه‌ای C2



شکل ۲۷ نتایج بار- تغییر مکان روش STM غیر خطی به همراه نتایج آزمایشگاهی و FEA برای نمونه غیرلرزه‌ای C3

بار نظیر تسلیم شدگی ۲/۴۵٪ و شکل پذیری ۱۰٪ ثبت گردید. نتایج به خوبی نشان می‌دهد که مدل غیر خطی دستک فشاری و کششی در پیش‌بینی اثرات لغزش کلی آرماتور بر زوال ظرفیتی اتصال موفق بوده است و خرابای ایدئالی برای بررسی مسیر نیرو و شکل‌پذیری نمونه در قالب تحلیل‌های مونوتونیک می‌باشد. همچنین با توجه به ۰ آرماتور کششی تیر در محل حداکثر لنگر (بر ستون) در طول بارگذاری جاری نمی‌شود و افت تقاضای تنشی در این آرماتور مطابق نتایج آزمایشگاهی پیش‌بینی شده است.

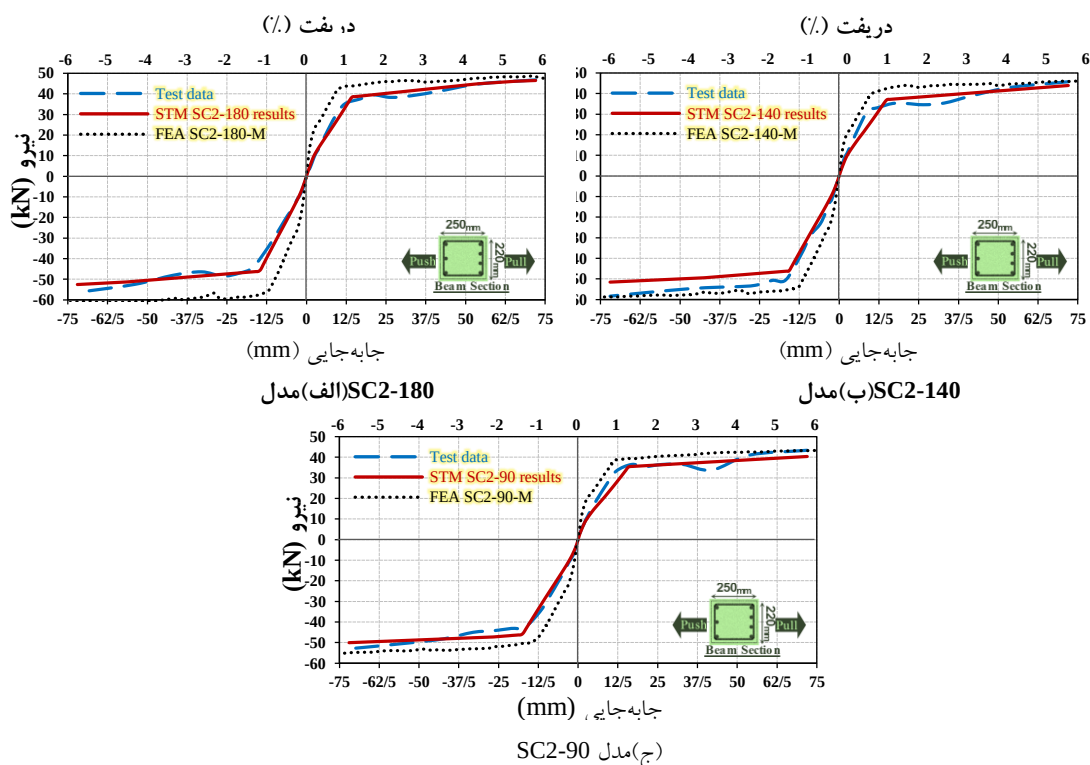
با توجه به ۰ تنش در آرماتور کششی تیر در محل حداکثر لنگر (بر ستون) در طول بارگذاری جاری نمی‌شود. در این حالت اتصال به عنوان عضو نیرو- کنترل عمل نمی‌کند و نمی‌تواند اجازه دهد که مفصل پلاستیک در تیر تشکیل شود. نتایج به دست آمده از سطح تنش در آرماتور مذکور مطابق نتایج آزمایشگاهی گزارش شده است و گویای موفقیت پیش‌بینی ظرفیت نیرویی اعضای مدل دستک فشاری و کششی می‌باشد.

اتصال غیرلرزه‌ای C3. نتایج بار- تغییر مکان تحلیل به روش دستک فشاری و کششی به همراه نتایج مدل اجزای محدود و نتایج آزمایشگاهی برای اتصال غیرلرزه‌ای C3 در ۰ قابل مشاهده می‌باشد. با توجه به ۰ درصد اختلاف مدل ماکرو دستک فشاری و کششی با نتایج آزمایشگاهی برای سختی مؤثر ۱۷٪،

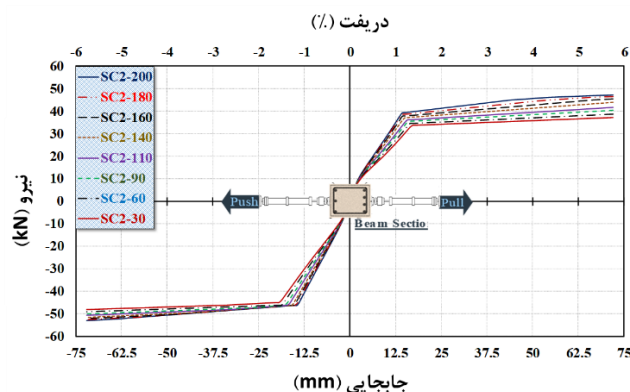
اتصالات تقویت شده SC2. در ۰ نتایج بار-جابه‌جایی برای نمونه‌های تقویت شده SC2 با نبشی‌های 90 mm و 140 mm 180 به همراه نتایج آزمایشگاهی و مدل اجزای محدود قابل مشاهده است. نتایج گویای اختلاف ۵٪ در مقدار مقاومت

۱۳۲۰ می‌باشد. این مزیت کاهش بسیار زیاد زمان و هزینه‌های محاسباتی، شرایط را میسر می‌کند که برای رسیدن به ارتباط اندازه نبشی در تقویت ظرفیت اتصال مدل‌های تقویت‌شده با اندازه‌های مختلف نبشی فولادی مورد بررسی قرار بگیرد. در صورت تقویت اتصالات غیرلرزه‌ای C2 با نبشی‌های مختلف از 30 mm تا 200 mm (مطابق ۰) ظرفیت‌های جدیدی برای اتصالات تقویت‌شده (SC2) به دست می‌آید. مقادیر بار نظیر تسلیم‌شدگی از ۱۴٪ تا ۲۵٪ افزایش داشته است و سختی مؤثر نیز از مقدار ۲/۲ kN/mm تا مقدار ۲/۶ kN/mm در تغییر می‌باشد.

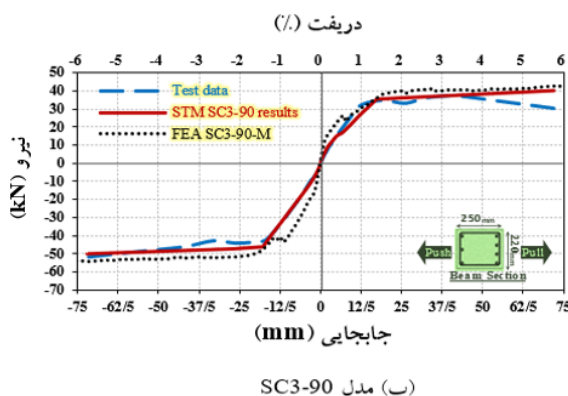
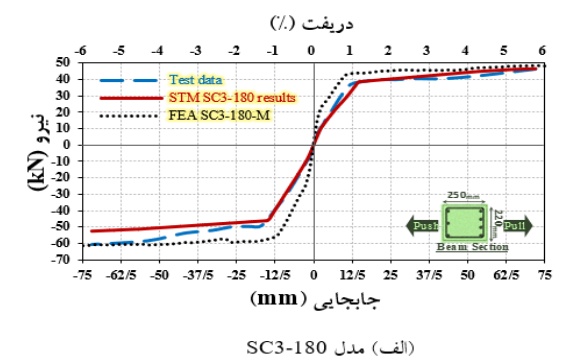
حداکثری مدل‌های دستک فشاری و کششی و نتایج آزمایشگاهی می‌باشد. جزئیات بیشتر در مشخص شده‌است. در مقایسه نتایج مدل دستک فشاری و کششی و مدل اجزای محدود می‌توان یافت که نتایج مدل دستک فشاری و کششی می‌تواند بار نظیر تسلیم‌شدگی را ۶٪ نزدیک‌تر از نتایج مدل اجزای محدود در مقایسه با نتایج آزمایشگاهی تخمین بزند. مزیت دیگر این روش در این است که نسبت زمانی که برای تحلیل مدل دستک فشاری و کششی پیشنهادی به تحلیل اجزای محدودی همین مدل و با یک سیستم مشابه لازم است، ۷ به



شکل ۲۸ نتایج بار- جابه‌جایی روش STM غیر خطی به همراه نتایج آزمایشگاهی و FEA برای نمونه‌های تقویت‌شده SC2



شکل ۲۹ تأثیر ابعاد بزرگ‌شدگی اتصال در پاسخ‌های بار- جابه‌جایی روش STM برای نمونه SC2



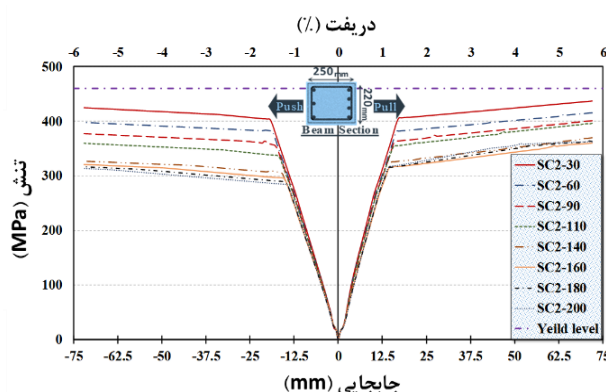
شکل ۳۱- نتایج بار- جابه جایی روش STM غیر خطی به همراه نتایج آزمایشگاهی و FEA برای نمونه های تقویت شده SC3

نتیجه گیری

استفاده از مدل سازی به روش دستک فشاری و کششی برای پیش بینی اثرات مکانیزم های گسیختگی در پاسخ اتصالات لرزه ای و غیر لرزه ای و پیش بینی رفتار نمونه های تقویت شده لرزه ای از دستاوردهای اصلی و جدید پژوهش حاضر می باشد. استفاده از رفتار پلاستیسیته در مصالح اعضای مدل خرابا و لحاظ قابلیت تغییر موقعیت دستک ها، موجب بازسازی و انعکاس تغییر شکل ناحیه اتصال به سبب پیشرفت زوال سختی و یا توسعه لغزش های آرماتور طولی تیر از درون ناحیه اتصال، در مدل خرابای معادل شده است. بدین ترتیب در نظر گرفتن رفتار غیر خطی در مدل خرابای معادل امری نوآورانه می باشد که در این پژوهش مورد تمرکز قرار گرفته است. از آنجا که پارامترهای کمتری در مدل ماکرو به روش دستک فشاری و کششی در مقایسه با مدل های میکرو مقید شده با تابع شکل، دخیل شده است؛ عدم قطعیت های روش دستک فشاری و کششی کاهش یافته است.

در این پژوهش برای اتصالات تیر ستون بتن آرمه موجود با

در ۰) تغییرات تنش آرماتورهای کششی تیر در بر اتصال و در طول بارگذاری مشخص گردید. قابل اشاره مجدد می باشد که جابه جایی مثبت مربوط به حالتی است که آرماتورهای تحتانی تیر ($3\phi 14$) تحت کشش قرار می گیرند و جابه جایی منفی زمانی که آرماتورهای فوقانی با جزئیات $4\phi 14$ (آرماتورهای ثقلی) تحت کشیدگی باشند. همان طور که مشاهده می گردد با توجه به تنش تسلیم 460 MPa برای آرماتورهای طولی تا دریافت مورد بررسی (۶٪) هیچ یک از آرماتورهای مذکور به سطح تسلیم خود نرسیده اند و با افزایش اندازه نبشی های تقویتی، ماکزیمم تنش مورد تقاضا در این آرماتورها کمتر می شود.



شکل ۳۰- مقادیر تنش آرماتورهای کششی تیر در برستون در طول بارگذاری برای نمونه های تقویت شده SC2

اتصالات تقویت شده SC3

در ۰) نتایج بار- جابه جایی برای نمونه های تقویت شده SC3 با نبشی های 90 mm و 180 mm به همراه نتایج آزمایشگاهی و مدل اجزای محدود قابل مشاهده است. نمونه های ساخته شده با روش دستک فشاری و کششی غیر خطی توانست با اختلاف ۸٪ برای بار نظیر تسلیم شدگی و درصد اختلاف ۱۳٪ در مقدار سختی مؤثر، ظرفیت نیرویی اتصالات تقویت شده را در مقایسه با نتایج آزمایشگاهی پیش بینی کند.

در این نمونه ها برای حالتی که آرماتورهای قطع شده با طول گیرداری ناکافی تحت کشش قرار می گیرند استفاده از نبشی $90 \times 90 \times 16 \text{ mm}$ L ، موجب افزایش ۶۵٪ بار نظیر تسلیم شدگی و استفاده از نبشی $180 \times 180 \times 18 \text{ mm}$ L ، موجب افزایش ۸۰٪ بار نظیر تسلیم شدگی می گردد.

مقاومت و سختی مدل در دسترس قرار می‌گیرد. امکان بررسی تأثیر ابعاد بزرگ‌شدگی اتصال در طرح مقاوم‌سازی حاضر از توانمندی‌های مدل دستک فشاری و کششی پیشنهادی می‌باشد. نتایج به دست آمده از مدل دستک فشاری و کششی از انطباق ۸٪ بار نظیر تسلیم شدگی و ۱۵٪ سختی مؤثر در مقایسه با نتایج آزمایشگاهی برای اتصالات تقویت شده حکایت دارد.

علی‌رغم پیش‌بینی موفق رفتار نیرو-تغییر مکان نمونه‌های لرزه‌ای، مستعد آسیب لرزه‌ای و تقویت شده، مدل‌های دستک فشاری و کششی امکان پیش‌بینی ترک‌خوردگی‌ها، توزیع حقیقی تنش در فضای بتن و باز توزیع‌های تنش به دلیل ترک‌خوردگی را ندارد. در روش دستک فشاری و کششی، بتن فقط به صورت یک دستک فشاری دیده شده است و از مقاومت کششی و نرم‌شدگی کششی بتن صرف نظر شده است.

سپاسگزاری

نویسندگان از کارمندان مرکز محاسبات سریع دانشکده مهندسی عمران دانشگاه صنعتی شاهرود برای در اختیار گذاشتن سیستم‌های محاسباتی تشکر می‌کنند.

رعایت جزئیات لرزه‌ای و بدون رعایت جزئیات لرزه‌ای (عدم تسلیح برشی ناحیه اتصال و کافی نبودن طول گیرداری آرماتورهای طولی در ناحیه اتصال) مدل‌های دستک فشاری و کششی با قابلیت پیش‌بینی پتانسیل‌های غیر خطی ارائه شده‌است. نتایج حاصل از مدل‌های غیر خطی دستک فشاری و کششی در مقایسه با نمونه‌های نظیر آزمایشگاهی نشان می‌دهد که مدل‌های ارائه شده از دقت ۵٪ در تخمین بار نظیر تسلیم شدگی اتصال (۵٪) بهتر از نتایج مدل‌های میکروی اجزای محدود) و از دقت ۱۴٪ در پیش‌بینی سختی مؤثر نمونه‌ها (۲۶٪) بهتر از نتایج اجزای محدود) برخوردار می‌باشد. همچنین قادر به پیش‌بینی ظرفیت برشی اتصال، تأثیر خاموت اتصال بر ظرفیت برشی، تشکیل مفصل پلاستیک، زوال سختی، لغزش آرماتور در اتصال و تأثیر آن در میزان افزایش مقاومت و سختی اتصال می‌باشد.

استفاده از مدل‌های دستک فشاری و کششی ارائه شده برای اتصالات تقویت شده به روش بزرگ کردن ناحیه اتصال منجر به پاسخ‌های دقیق نیرو-جابه‌جایی نمونه‌ها گردید. مدل‌های خرابای پیشنهادی با پتانسیل غیر خطی به خوبی می‌تواند سطح تسلیم آرماتورهای تیر را پیش‌بینی کند و با توزیع نیروها در دستک‌های از جنس بتن و فولاد، پاسخ نهایی، شامل زوال

مراجع

- [1] J. Shafaei, S.A. Nezami, "Effect of different size of joint enlargement on seismic behavior of gravity load designed RC beam-column connections", *The Structural Design of Tall and Special Buildings*, vol. 28, no. 14 pp. 1653-1674, (2019). <https://doi.org/10.1002/tal.1653>
- [2] C. Lima, E. Martinelli and C. Faella, "Capacity models for shear strength of exterior joints in RC frames: state-of-the-art and synoptic examination", *Bulletin of Earthquake Engineering*, vol. 10, no. 3, pp. 967-983, (2012). <https://doi.org/10.1007/s10518-012-9340-4>
- [3] K. Parate, R. Kumar, "Investigation of shear strength models for exterior RC beam-column joint", *Structural Engineering and Mechanics*, vol. 58, no. 3, pp. 475-514, (2016).
- [4] S. Sritharan, M.N. Priestley and F. Seible, "Nonlinear finite element analyses of concrete bridge joint systems subjected to seismic actions", *Finite elements in analysis and design*, vol. 36, no. 3-4, pp. 215-233, (2000). [https://doi.org/10.1016/S0168-874X\(00\)00034-2](https://doi.org/10.1016/S0168-874X(00)00034-2)
- [5] J. Zhao, S. Sritharan, "Modeling of strain penetration effects in fiber-based analysis of reinforced concrete structures", *ACI structural journal*, vol. 104, no. 2, pp. 133, (2007).
- [6] D.-C. Feng and J. Xu, "An efficient fiber beam-column element considering flexure-shear interaction and anchorage

- bond-slip effect for cyclic analysis of RC structures,” *Bulletin of Earthquake Engineering*, vol. 16, no. 11, pp. 5425-5452, (2018). <https://doi.org/10.1007/s10518-018-0392-y>
- [7] D. C. Feng, G. Wu and Y. Lu, “Finite element modelling approach for precast reinforced concrete beam-to-column connections under cyclic loading”, *Engineering Structures*, vol. 174, pp. 49-66, (2018). <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2018.07.055>
- [8] D. C. Feng, X. D. Ren and J. Li, “Softened damage-plasticity model for analysis of cracked reinforced concrete structures”, *Structural Engineering*, vol. 144, no. 6, pp. 1804-1824, (2018). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ST.1943-541X.0002015](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0002015)
- [9] H. Behnam, J. Kuang and B. Samali, “Parametric finite element analysis of RC wide beam-column connections”, *Computers & Structures*, vol. 205, pp. 28-44, (2018). <https://doi.org/10.1016/j.compstruc.2018.04.004>
- [10] J. Schlaich, K. Schäfer and M. Jennewein, “Toward a consistent design of structural concrete”, *PCI journal*, vol. 32, no. 3, pp. 74-150, (1987).
- [11] M. F. Ruiz, A. Muttoni, “On development of suitable stress fields for structural concrete,” *ACI Structural journal*, vol. 104, pp. 495-502, (2007).
- [12] ACI Committee 318, Building code requirements for structural concrete: *American Concrete Institute*, Michigan: Farmington Hills, (2019).
- [13] B.K. Breen J, Jirsa JO and Kreger M. “Detailing for Structural Concrete,” University of Texas at Austin, Texas, United States. Report. 1127-3F, (1993).
- [14] S.A. Haugerud, J. Blaauwendraad, S. Bousias, L. Cao Hoang, J. Mata Falcón, C. Meléndez Gimeno, B. Mihaylov, M. Pedrosa Ferreira and Q. Roubaty, “Design and assessment with strut-and-tie models and stress fields: from simple calculations to detailed numerical analysis,” *fib Bulletin*, vol. 100, (2021).
- [15] A. Muttoni, J. Schwartz and B. Thürlimann, “Design of concrete structures with stress fields”, *Springer Science & Business Media*, (1996).
- [16] M. S. Lourenço, J. F. Almeida, “Adaptive Stress Field Models: Formulation and Validation”, *ACI Structural Journal*, vol. 110, no. 1, (2013). <https://doi.org/10.14359/51684331>
- [17] S. A. Nezami, J. Shafaei, “Parametric Finite Element Evaluation of RC Beam-Column Joints”, *Advance Researches in Civil Engineering*, vol. 3, no. 2, pp. 16-26, (2021). <https://doi.org/10.30469/arce.2021.135123>
- [18] W. Kassem, “Strut-and-tie modelling for the analysis and design of RC beam-column joints”, *Materials and Structures*, vol. 49, no. 8, pp. 3459-3476, (2016). <https://doi.org/10.1617/s11527-015-0732-1>
- [19] R. Ketiyot, C. Hansapinyo and B. Charatpangoon, “Nonlinear strut and tie model with bond-slip effect for analysis of RC beam-column joints under lateral loading,” *International Journal*, vol. 15, no. 47, pp. 81-88, (2018). <https://doi.org/10.21660>
- [20] P. Chaimahawan and A. Pimanmas, “Application of nonlinear link in strut and tie model for joint planar expansion”, *Engineering Journal of Research and Development*, vol. 24, no. 4, pp. 1-11, (2013).
- [21] N.H. To, S. Sritharan and J.M. Ingham, “Strut-and-tie nonlinear cyclic analysis of concrete frames”, *Journal of structural engineering*, vol. 135, no. 10, pp. 1259-1268, (2009). <https://doi.org/10.1061>

- [22] A. Marchisella, G. Muciaccia, "Haunch retrofit of RC beam-column joints: Linear stress field analysis and Strut-and-Tie method application", *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, vol. 52, no. 12, pp. 3575-3599, (2023). <https://doi.org/10.1002/eqe.3921>
- [23] G. Genesio, "Seismic assessment of RC exterior beam-column joints and retrofit with haunches using post-installed anchors", *University of Stuttgart*, (2012).
- [24] S. J. Hwang, H. J. Lee, "Analytical Model for Predicting Shear Strengths of Exterior Reinforced Concrete Beam-Column Joints for Sesimic Resistance", *ACI Structural Journal*, vol. 96, pp. 846-857, (1999). <https://doi.org/10.14359/831>
- [25] S. Park, K. M. Mosalam, "Parameters for shear strength prediction of exterior beam-column joints without transverse reinforcement", *Engineering Structures*, vol. 36, pp. 198-209, (2012). <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2011.11.017>
- [26] M. Pauletta, D. Di Luca and G. Russo, "Exterior beam column joints-Shear strength model and design formula", *Engineering Structures*, vol. 94, pp. 70-81, (2015). <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2015.03.040>
- [27] W. M. Hassan, J. P. Moehle, "Shear Strength of Exterior and Corner Beam-Column Joints without Transverse Reinforcement", *ACI Structural Journal*, vol. 115, no. 6, (2018).
- [28] S. J. Hwang, W. H. Fang, H. J. Lee and H. W. Yu, "Analytical model for predicting shear strength of squat walls", *Journal of Structural Engineering*, vol. 127, no. 1, pp. 43-50, (2001). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9445\(2001\)127:1\(43\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9445(2001)127:1(43))
- [29] S. J. Hwang, R. J. Tsai, W. K. Lam and J. P. Moehle, "Simplification of softened strut-and-tie model for strength prediction of discontinuity regions", *ACI Structural Journal*, vol. 114, no. 5, pp. 1239-1258, (2017).
- [30] N. Zhang and K. H. Tan, "Direct strut-and-tie model for single span and continuous deep beams," *Engineering Structures*, vol. 29, no. 11, pp. 2987-3001, (2007).
- [31] P. Chetchotisak, J. Teerawong, S. Yindeesuk and J. Song, "New strut-and-tie-models for shear strength prediction and design of RC deep beams", *Computers and Concrete*, vol. 14, no. 1, pp. 19-40, (2014).
- [32] P. Chetchotisak, E. Arjsri, J. Teerawong, "Strut-and-tie model for shear strength prediction of RC exterior beam-column joints under seismic loading", *Bulletin of Earthquake Engineering*, pp. 1-22, (2019). <https://doi.org/10.1007/s10518-019-00756-4>
- [33] A. Dammika, N. Anwar, "Extraction of strut and tie model from 3D solid element mesh analysi", *presented at International Conference on Sustainable Built Environment, Kandy*, (2010).
- [34] W. Nukulchai, N. Anwar, "Space Truss Model for Design of Pile Caps," *Asian Institute of Technology*, (1996).
- [35] ACI Committee 318, Building Code Requirements for Structural Concrete: *American Concrete Institute*, (2014).
- [36] J. R. Cagley, J. M. LaFave, P. Paultre, M. E. Criswell, D. D. Lee, M. S. Saiidi, C. E. French, R. T. Leon, B. M. Shahrooz and L. E. Garcia, "Recommendations for Design of Beam-Column Connections in Monolithic Reinforced Concrete Structures", *ACI Structural Journal*, vol. 352, (2002).
- [37] A. Doğangün, "Performance of reinforced concrete buildings during the May 1, 2003 Bingöl Earthquake in Turkey", *Engineering Structures*, vol. 26, no. 6, pp. 841-856, (2004).

- [38] A. Ghobarah, M. Saatcioglu and I. Nistor, "The impact of the 26 December 2004 earthquake and tsunami on structures and infrastructure", *Engineering structures*, vol. 28, no. 2, pp. 312-326, (2006). <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2005.09.028>
- [39] T. Gur, A. Pay, J. A. Ramirez, M. A. Sozen, A. M. Johnson, A. Irfanoglu and A. Bobet, "Performance of school buildings in Turkey during the 1999 Düzce and the 2003 Bingöl Earthquakes", *Earthquake Spectra*, vol. 25, no. 2, pp. 239-256, (2009). <https://doi.org/10.1193/1.3089367>
- [40] D. K. Miller, "Lessons learned from the Northridge earthquake", *Engineering structures*, vol. 20, no. 4-6, pp. 249-260, (1998). [https://doi.org/10.1016/S0141-0296\(97\)00031-X](https://doi.org/10.1016/S0141-0296(97)00031-X)
- [41] J. P. Moehle, S. A. Mahin, "Observations on the behavior of reinforced concrete buildings during earthquakes", *Special Publication*, vol. 127, pp. 67-90, (1991). <https://doi.org/10.14359/3007>
- [42] T. Paulay, M.N. Priestley, "Seismic design of reinforced concrete and masonry buildings", *Seismic Design Book*, (1992).
- [43] H. Sezen, A.S. Whittaker, K.J. Elwood and K.M. Mosalam, "Performance of reinforced concrete buildings during the August 17, 1999 Kocaeli, Turkey earthquake, and seismic design and construction practise in Turkey", *Engineering Structures*, vol. 25, no. 1, pp. 103-114, (2003). [https://doi.org/10.1016/S0141-0296\(02\)00121-9](https://doi.org/10.1016/S0141-0296(02)00121-9)
- [44] B. Zhao, F. Taucer and T. Rossetto, "Field investigation on the performance of building structures during the 12 May 2008 Wenchuan earthquake in China," *Engineering Structures*, vol. 31, no. 8, pp. 1707-1723, (2009). <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2009.02.039>
- [45] J. Shafaei, A. Hosseini and M. S. Marefat, "Seismic retrofit of external RC beam-column joints by joint enlargement using prestressed steel angles", *Engineering Structures*, vol. 81, pp. 265-288, (2014). <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2014.10.006>
- [46] J. Shafaei, A. Hosseini, M. S. Marefat and J. M. Ingham, "Rehabilitation of earthquake damaged external RC beam-column joints by joint enlargement using prestressed steel angles", *Earthquake Engineering Structural Dynamics*, vol. 46, no. 2, pp. 291-316, (2017). <https://doi.org/10.1002/eqe.2794>
- [47] A.S. Genikomsou, M. A. Polak, "Finite element analysis of punching shear of concrete slabs using damaged plasticity model in ABAQUS", *Engineering structures*, vol. 98, pp. 38-48, (2015). <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2015.04.016>
- [48] British Standard, *Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance*, (2004).
- [49] E. Thorenfeldt, "Mechanical properties of high-strength concrete and applications in design", *Utilization of High-Strength Concrete*, (1987).
- [50] D. Systèmes, *ABAQUS/CAE user's guide*, Vol. 3, (2014).
- [51] AIJ, "Standard for structural Calculation of Reinforced concrete Structures–Based on Allowable Stress Concept", *Architectural Institute of Japan*, (1999).
- [52] ASCE/SEI 41, *Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings: American Society of Civil Engineers*, (2017).
- [53] ACI Committee 318, *Building Code Requirements for Structural Concrete: American Concrete Institute*, (2014).



Ferdowsi Civil Engineering

<https://civil-ferdowsi.um.ac.ir>



**Iranian
Concrete
Institute**



**Pavement
Engineering
Association
of Iran**

Designing the Policymaking Model of Municipal Urban Services with a Qualitative-Quantitative Approach

Research Article

Morteza Sharifi¹, Hassan Amiri² , Mahmoud Modiri³, Farzaneh Beigzadeh⁴

DOI: [10.22067/jfpei.2024.87667.1295](https://doi.org/10.22067/jfpei.2024.87667.1295)

1-Introduction

Considering the growth of the urban population in recent years, the quality of urban services and their improvement is among the main challenges of the policymaking system in the urban area. Policymaking is a process in which an organization implements its ideas to achieve results and create desirable changes in the real world.

Appropriate policies and strategies of urban services, such as traffic congestion management, can affect the quality of the urban life of citizens. Formulating and implementing appropriate policies as the foundation for the comprehensive development of countries is a profound step towards their development, and not taking it into account causes inefficiency and failure of the policy. Incompatibility of goals and policies, along with hierarchy from top to bottom are other reasons for the failure of urban services. Policymaking in support of necessary measures to prevent urban challenges can improve the performance of urban services. Therefore, a suitable framework should be considered in the design of policymaking for the alignment of the policymaking tools that interact with each other and try to increase the communication between the stakeholders.

The evidence has shown that one of the issues that have affected different countries in the world today in the field of public administration is the weakness of the macro conceptual model and the efficient structure of policymaking in the field of urban services. Some studies have provided models for urban service policymaking and considered different factors. They have emphasized on human, technical, financial, and structural systems and some others consider the structure, institution, support, executives, and executive organizations to be effective. In this regard, the participation and cooperation between stakeholders and actors in government policies has been emphasized.

In addition, realism in policymaking, financial and technical support, creating commitment between actors and cultural relations are among the most important factors in policymaking. Other studies have taken a different view and stated that the obstacles to the implementation of public policies in government organizations are the large number of goals, vague goals, and unrealistic policies.

As the results of studies have shown, different factors can play a role in the implementation of policies in different areas, which have not yet been confirmed in the field of municipal services. On the other hand, considering the importance of municipalities in creating or limiting developed cities, it is necessary to create a macro policymaking framework to support urban development and provide urban services. New ways of policymaking are needed in the field of urban services for urban progress and development. The problem is that incomplete and wrong policymaking and inconsistent implementation of policies can pose risks to urban development and the provision of proper urban services to citizens.

To solve this problem, the researcher is looking for an answer to the question what are the variables of the municipal service policy model? How is the relationship between the variables?

2. Methods

This research was conducted in both qualitative and quantitative ways. In the qualitative part, semi-structured interviews with experts and content analysis were used to extract the indicators, components, and variables of the model. In the quantitative part, we used the fuzzy DEMATEL method to determine the relationships and importance of components and variables. Finally, we tested the specified relationships with the structural

*Manuscript received May 1, 2024, Revised June 12, 2024, Accepted September 1, 2024.

¹ Ph.D. student, Department of Public Management, Islamic Azad University, South Tehran Branch, Tehran, Iran

² Corresponding author. Assistant Professor, Department of Public Management, Islamic Azad University, South Tehran Branch, Tehran, Iran. **Email:** h_Amiri@azad.ac.ir

³ Assistant Professor, Department of Industrial Management, Islamic Azad University, South Tehran Branch, Tehran, Iran

⁴ Assistant Professor, Department of Business Management, Islamic Azad University, South Tehran Branch, Tehran, Iran

equation modeling method. According to the problem-solving method, we have two groups of statistical population. The statistical population of the qualitative section had 15 experts, including senior managers of the municipalities of Gilan province, who were selected in a targeted way. The sample selection criterion was theoretical saturation. The experts had some characteristics, including an experience of more than 15 years in executive positions related to urban services, post-graduate education at least Master's degree, full knowledge of urban services policy, and being available. The statistical population for the model test consists of 4000 employees of Rasht municipality, of which 375 people were randomly selected in seven sub-districts according to Cochran's formula, and their five-point Likert scale answers were obtained using SMART PLS software, the third version of the test.

3. Analysis

The findings of the qualitative part showed that the variables of the model included environmental (with the components of laws, government, citizens, and relevant organizations), economic (with the components of resource management, income dynamics, sustainable income generation, and credits), cultural (with the components of citizen culture, organizational culture, city Islamic council, and the culture of upstream and supervisory organizations), operational (with the components of human capacities, evaluation, institutional coordination, and executive), content (with the components of the society, policymakers, and executives). The findings of the fuzzy DEMATEL section showed that "environmental", "cultural", "economic", "content", and "operational" variables were influential. Figure 1 shows the map of the relationship network and how the variables influence and are influenced.

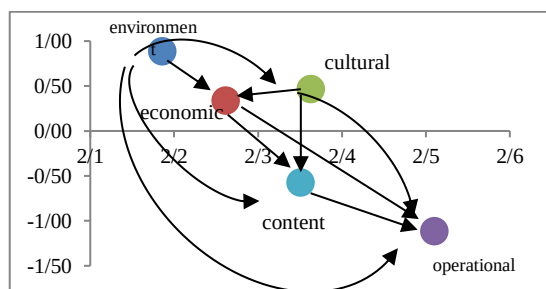


Figure 1. Map of the network of relationships between the variables of the policymaking model in the field of urban services

Figure 1 shows that the operational variable for formulating and implementing policymaking is a problem and a challenge that should be improved faster. "Environmental" variable is the most influencing factor that improves policymaking in the field of urban services, and the priority of managers should be emphasizing this variable to solve operational challenges. For the proper operationalization of policymaking, it is necessary to pay attention to the content factors of it.

Structural equation modeling method and SMART PLS software have been used to test model relationships. The findings showed that the factor loading of the indices of the constructs was more than 0.5, Cronbach's alpha was greater than 0.7, the composite reliability was higher than 0.7, and the measurement model was confirmed. After confirming the measurement model, the evaluation structural model was checked. Finally, beta coefficients of the path and significant values between the relationships of the variables in the model were obtained. These findings are listed in Table 1.

Table 1. Beta coefficients and significant values related to the model

Model variables	Beta	T	results
Environmental factor > cultural	0.886	19.038	ok
Environmental factor > economic factor	0.537	3.765	ok
Environmental factor > content	0.922	13.724	ok
Environmental factor > operational factor	0.48	4.236	ok
Cultural factor > economic factor	0.282	2.068	ok
Cultural factor > content factor	0/017	0.345	Not ok
Cultural factor > operational factor	0.072	2.10	ok
Economic factor > content factor	0.082	1.516	Not ok
Economic factor > operational factor	0.077	2.659	ok
content factor > operational factor	0.382	3.433	ok

4. Conclusion and Suggestions

What has excited our research is the experts' emphasis and confirmation on "cultural" and "content" variables in urban service policies. This finding shows that laws, government, citizens, and relevant organizations have played an important role in the implementation of policies. It is suggested that a suitable and up-to-date law be approved and implemented for coordination and synergy in the implementation of policies and management of resources and revenues.

The "cultural" variable has a positive and significant effect on economic and operational. The existence of an organizational culture with collaborative styles and based on an executive approach to laws and regulations improves cooperation and coordination in policy implementation and ultimately prevents project failure and subsequent costs. A culture based on collective and collaborative work is suggested, and handing over decision-making powers based on managerial styles in the policy implementation environmental should be considered.

The "content" and "economic" variables have a positive and significant effect on "operational". Based on this finding, clear and realistic goals, consideration, and priority of public concern in policies can be effective in monitoring and implementing operations. It is suggested that managers present clear and detailed plans in formulating policies and seek help from experts and elites in this regard.

One of the limitations of the current research is caution in generalizing its findings to other organizations. It is suggested that researchers investigate the role of people's participation in the implementation of policies in the development policy.



طراحی مدل سیاست گذاری خدمات شهری شهرداری با رویکرد کیفی-کمی*

مقاله پژوهشی

مرتضی شریفی^(۱) حسن امیری^(۲) محمود مدیری^(۳) فرزانه بیگزاده^(۴)

DOI: 10.22067/jfpei.2024.87667.1295

چکیده ضعف در سیاست گذاری، افزایش کیفیت و بهبود ارائه خدمات به شهروندان را متوقف می کند و این مسئله باعث شده است تا نیاز به شیوه های جدید مدل سیاست گذاری در حوزه خدمات شهری برای پیشرفت و توسعه شهری بیشتر احساس شود. بنابراین، پژوهش حاضر در صدد آن است تا با ارائه مدل سیاست گذاری خدمات شهری شهرداری بتواند به ارائه مناسب خدمات شهری و توسعه شهری کمک کند. بدین منظور، تحقیق حاضر به صورت توسعه ای-کاربردی و در دو فاز کمی-کیفی انجام شده است. جامعه تحقیق در بخش کیفی خبرگان شامل مدیران ارشد شهرداری هستند که با روش نمونه گیری غیراحتمالی هدفمند و نظری به تعداد ۱۵ بر اساس معیار اشباع نظری انتخاب شدند و در بخش کمی، جامعه آماری کارکنان شهرداری ها به تعداد ۳۵۰ نفر به صورت تصادفی-طبقه ای است. یافته های بخش کیفی با روش تحلیل محتوا نشان داد مدل شامل پنج متغیر «محیطی»، «اقتصادی»، «فرهنگی»، «محتوایی» و «عملیاتی» به همراه ۲۰ مؤلفه می باشد. یافته های بخش کمی با روش دیمتال فازی نشان داد که متغیرهای «محیطی»، «فرهنگی»، «اقتصادی»، «محتوایی» به ترتیب بر متغیر «عملیاتی» اثر می گذارد. یافته های روش مدل سازی معادلات ساختاری برای آزمون مدل نشان داد که متغیر محیطی بر «فرهنگی»، «اقتصادی»، «محتوایی» و «عملیاتی» تأثیر مثبت و معنی داری دارد. همچنین متغیر «فرهنگی» با «اقتصادی» و «عملیاتی» رابطه مثبت و معنی داری دارد. اما روابط بین «فرهنگی» و «اقتصادی» با «محتوایی» تأیید نشد. امید است مدیران و دولتمردان با تمرکز بر قوانین مناسب و حمایت های اقتصادی بتوانند در اجرای مناسب سیاست گذاری ها به موفقیت دست یابند.

واژه های کلیدی سیاست گذاری ها، خدمات شهرداری، سیاست گذاری های شهری.

Designing the Policy Making Model of Municipal Urban Services with a Qualitative-Quantitative Approach

Morteza Sharifi Hassan Amiri Mahmoud Modiri Farzaneh Beigzadeh

Abstract Weakness in policy making stops the increase in quality and improvement of services to citizens, and this problem has made the need for new ways of policy-making model in the field of urban services to be felt more for the progress and development of the city. Therefore, the current research aims to provide a policy model of urban services of the municipality to help in the proper provision of urban services and urban development. For this purpose, the present research has been carried out in a developmental-applied way and in two quantitative-qualitative phases. The research community in the qualitative part of the experts includes the senior managers of the municipality, who were selected by a non-probability and theoretical sampling method in the number of 15 based on the theoretical saturation criterion, and in the quantitative part, the statistical population of municipal employees in the number of 350 people randomly. It is a floor. The findings of the qualitative part with the content analysis method showed that the model includes five variables "environmental", "economic", "cultural", "content", and "operational" along with 20 components. The findings of the quantitative part with fuzzy Dimetal method showed that "environmental", "cultural", "economic", "content" variables respectively affect the "operational" variable. The findings of the structural equation modeling method for the model test showed that the environmental variable has a positive and significant effect on "cultural", "economic", "content" and "operational". Also, the "cultural" variable has a positive and significant relationship with "economic" and "operational". But the relationship between "cultural" and "economic" with "content" was not confirmed. It is hoped that managers and statesmen can achieve success in the proper implementation of policies by focusing on appropriate laws and economic support.

Key words Policies, Municipal services, Urban policies.

* تاریخ دریافت مقاله ۱۴۰۳/۲/۱۲ و تاریخ پذیرش آن ۱۴۰۳/۶/۱۱ می باشد.

(۱) دانشجوی دکتری، گروه مدیریت دولتی، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران.

(۲) نویسنده مسئول، استادیار، گروه مدیریت دولتی، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران.

(۳) استادیار، گروه مدیریت صنعتی، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران.

(۴) استادیار، گروه مدیریت کسب و کار، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران.

مقدمه

امروزه بیش از نیمی از جمعیت جهان در شهرها زندگی می کنند و پیش بینی می شود تا سال ۲۰۵۰ این میزان به بیش از دو سوم افزایش یابد. این امر باعث سرعت گسترش شهرها و ایجاد طیفی از چالش های جدید مرتبط با مدیریت خدمات در تجمعات شهری شده است [1]. این قضیه ممکن است منجر به ضعف در ارائه خدمات شود که چالش اصلی برای مدیران [2] در زمینه پایداری و توسعه شهری مرتبط با برنامه ریزی و سیاست گذاری است [3]. بنابراین، فرصت هایی برای متخصصان شهری و سیاست گذاران فراهم شده است تا در مدیریت دارایی های عمومی و ارائه خدمات تصمیم گیری بهتری بگیرند [4]، چرا که سیاست های برنامه ریزی شهری بر سبک زندگی شهری، سلامت و پایداری تأثیر می گذارد [5]. هر چه قدر ظرفیت سیاست گذاری کشوری غنی تر باشد، کشور در مسیر پیشرفت و توسعه قرار می گیرد [6].

بدون راهنمایی روشن از برنامه ریزی و سیاست گذاری شهری، شهرها از توسعه باز می مانند و بر اهداف توسعه شهری تأثیر می گذارد [7]. ثبات و توسعه هر شهر توسعه یافته، وابسته به سیاست گذاران آن است. این موضوع، ارتباط اهمیت سیاست گذاری، برنامه ریزی، ساخت و اجرا در تجزیه و تحلیل کارایی و اثربخشی دولتمردان و مدیران شهری را نشان می دهد [8]. با نوآوری سیاست های شهری می توان بر مشکلات شهری غلبه کرد [9]. علی رغم سیاست مشترکی که برای پایداری شهرها تأیید شده است، اما اهداف سیاستی برای دستیابی به این چشم انداز کم است. بنابراین، نیاز فوری به ایجاد ظرفیت برای سیاست برنامه ریزی خدمات شهری به ویژه در کشورهای کم درآمد و با درآمد متوسط وجود دارد [5].

موضوع کیفیت خدمات ارائه شده شهری و بهبود و تضمین آن، یکی از چالش های اصلی فرا روی نظام سیاست گذاری در حوزه شهری است [10]. عملیات و برنامه ریزی های شهری و طراحی سیستم های تسهیلات شهری به منظور ارائه خدمات مناسب به شهروندان در سیاست ها مطرح گردد [11]. سیاست ها و استراتژی های مناسب خدمات شهری همچون مدیریت کنترل تراکم ترافیک می تواند بر کیفیت زندگی شهری شهروندان مؤثر باشد [12]. تدوین و اجرای سیاست گذاری های مناسب به عنوان شالوده توسعه همه جانبه کشور عمیقاً گامی در جهت توسعه

همه جانبه کشور است [10]، و در نظر نگرفتن آن موجب ناکارآمدی و شکست خطی مشی می گردد [13]. بنابراین، در طراحی سیاست گذاری ها باید چارچوب مناسبی را برای هم راستایی ابزار خط سیاست گذاری در نظر گرفت که با یکدیگر در تعامل باشند و سعی بر آن باشد تا ارتباط بین ذی نفعان افزایش یابد [14].

اجرای سیستم ها و سیاست گذاری های مدیریت مؤثر برای دستیابی به اهداف کلان ضروری است [15]. برنامه ریزی و اجرای درست سیاست گذاری ها برای پروژه های خدمات شهری، پیامدهای کاهش ریسک های عملیاتی را به همراه دارد [16] و برنامه ریزان به طور فزاینده ای از ارزش خدمات شهری برای کیفیت زندگی ساکنان شهر آگاه می شوند. با این حال، چارچوب خدمات شهری هنوز در سیاست گذاری به صورت سیستماتیک ادغام نشده است [17]. آنچه که ادبیات نشان می دهد سیاست گذاری با پیچیدگی هایی مانند نبود اجماع (Lack of consensus)، عدم تجانس (Lack of congruence) و عدم قطعیت (Uncertainty) روبه رو است و وجود طیف وسیعی از شهروندان و دامنه گسترده ای از خدمات متنوع، بر این پیچیدگی افزوده است [18]. همچنین، ضعف در سیاست گذاری مشارکتی و تدوین برنامه ها از بالا به پایین موجب می شود که درک کافی از نیازهای محلی وجود نداشته باشد و مشارکت محله در اجرای سیاست ها با چالش مواجه شود [19]. به طور مثال ناهماهنگی های در خصوص تراکم کاربری های زمین، افزایش تصادفات در شهر را به همراه خواهد داشت [20]. بنابراین، نبود سازگاری بین اهداف و سیاست گذاری ها و سلسله مراتبی بودن آن از بالا به پایین از دلایل دیگر شکست خدمات شهری است [21]. این شکست باعث می شود که دولت از اهداف توسعه باز بماند و یک بی اعتمادی بین مردم و حکمران ها ایجاد شود که آثاری سوء بر جای خواهد گذاشت [22].

تدوین غیر علنی سیاست گذاری های سازمان ها باعث می شود سیاست گذاری ها جنبه اجرائی به خود نگیرند و یا در مرحله اجرا توفیق لازم را به دست نیاورند [23]. در تدوین سیاست گذاری باید به مسائل و مشکلات واحد پرداخته شود تا از پیچیدگی آن کاسته شود. تدوین سیاست ها در حمایت از اقدامات لازم به منظور پیشگیری از چالش های شهری، می تواند عملکرد خدمات شهری را بهبود دهد [24]. علاوه بر این،

خدمات مناسب شهری به شهروندان را با ریسک مواجه کند. از طرفی دیگر، وجود گستردگی حیطه و عرصه‌های خدمات شهری و دارا بودن مصداق‌های متعدد خدمات، برخی از سیاست‌ها و فرایندهای سیاست‌گذاری در حوزه تدوین، اجرا و ارزیابی، ممکن است با مشکل مواجه شود. ضعف در سیاست، افزایش کیفیت و بهبود ارائه خدمات به شهروندان را متوقف می‌کند. بنابراین، یکی از چالش‌های مهم میان مدیران ارشد اجرایی و سیاست‌گذاران شهری این است که برای حل مشکلات پیچیده به طراحی قوی سیاست نیاز دارند. بنابراین به‌کارگیری سیاست‌های مناسب برای ارائه خدمات شهری جهت توسعه شهر و بهبود ارائه خدمات شهری یک مسئله است که شهرداری‌ها با آن مواجه هستند و تحقیق حاضر به دنبال این است تا بتواند با ارائه مدل سیاست‌گذاری خدمات شهری شهرداری به مدیران و سیاست‌گذاران در ارائه سیاست‌های مناسب کمک کند.

ادبیات و پیشینه نظری تحقیق سیاست‌گذاری

سیاست‌فرایندی است که در آن سازمان ایده‌های خود را به برنامه‌ها و فعالیت‌های پیاده‌سازی برای دستیابی به نتایج و ایجاد تغییرات مطلوب در دنیای واقعی عملی می‌کند [33]. سیاست‌فرایندی است که دولت با آن ایده‌های خود را به برنامه‌ها و فعالیت‌های پیاده‌سازی برای دستیابی به نتایج و ایجاد تغییرات مطلوب در دنیای واقعی عملی می‌کند [34]. سیاست‌ها معمولاً برای مقابله با یک مشکل و مسئله و به منظور حل آن پدید می‌آیند و اغلب به منزله چرخه‌ای تلقی می‌شوند که در آن مشکلات ابتدا به عنوان یک مسئله مورد توجه قرار می‌گیرند، دوره‌های مختلف عمل بررسی می‌شوند، سیاست‌ها تعیین می‌گردد، توسط کارکنان اجرا و ارزیابی می‌شوند و تغییر می‌یابند و سرانجام با موفقیت یا شکست پایان می‌پذیرند [35]. سیاست به عنوان یک موضوع در قالب یک مشکل مشترک و هدف مشترک، به عنوان یک موضوع سیاست تعریف می‌شود. با این موضوع سیاست‌گذاری، سیاست‌های عمومی تدوین و تعیین می‌شود. سپس این سیاست اجرا می‌شود. در اجرای سیاست، یک فرایند نظارت وجود دارد تا با تدوین سیاست‌ها سازگار باشد [9]. در تدوین سیاست باید به مسائل و مشکلات

طراحی سیستم‌های خدمات شهری متناسب با مقررات شهری و در نظر گرفتن الزامات طرح‌های مدیریت شهری و شهرسازی در سیاست‌گذاری‌های شهری ضروری است [25]. همچنین تعریف واضح نقش‌ها و مسئولیت‌های بازیگران سیاست‌ها دارای اهمیت است [26]. مطالعه شکری و همکاران (۱۳۹۷) تأکید کرده است که بر اساس فرایند سیاست‌گذاری، مهم‌ترین مراحل تأثیرگذار در کیفیت سیاست‌ها، مرحله تدوین سیاست و مرحله مشروعیت‌بخشی به سیاست می‌باشد [27] و این یافته‌ها در تحقیق دانایی فرد و همکاران (۱۳۹۵) [10] تأکید شده است [10] و در مطالعات دیگر ارزیابی نتایج حاصل از سیاست‌گذاری توجه شده است؛ بنابراین، هدف اصلی سیاست‌های شهری این است که سیاست‌گذاران بتوانند سیاست مبتنی بر شواهد را به خوبی طراحی و سپس ارزیابی کنند تا از شکست پیشگیری شود [28].

هدف ادغام سیاست می‌تواند اجتناب از تعاملات منفی بین اهداف بخشی یا تلاش برای تعاملات مثبت بین آن‌ها باشد تا متقابلاً یکدیگر را تقویت کنند [29]. امروزه تا حد زیادی موفقیت و شکست سیاست‌ها را می‌توان از طریق شناسایی و بهبود شاخص‌های هر مرحله از فرایند سیاست‌گذاری تعیین کرد [27]. به طوری که طبق توسون (Tosun) (۲۰۱۸) با یکپارچگی سیاست و با اتخاذ یک ابزار می‌توان اهداف سیاست را در بخش‌های مختلف برآورده کرد [30]. شواهد نشان می‌دهد یکی از مسائلی که امروزه کشورهای مختلف دنیا را در حوزه مدیریت دولتی تحت تأثیر خود قرار داده، نبود الگوی مفهومی کلان و ساختار کارآمد سیاست‌گذاری در حوزه خدمات شهری است [31]، و برای پیشرفت و توسعه شهری، به شیوه‌های جدید الگوی خط مشی گذاری در حوزه خدمات شهری نیاز است [32]؛ بنابراین، ضروری است برای مقابله با مشکلات توسعه شهری و کلان کشور و به منظور پیشگیری از شکست سیاست‌گذاری‌ها، اهداف واقع‌بینانه طرح‌ریزی شوند و به اجرا درآیند.

با توجه به اهمیت شهرداری‌ها در ایجاد یا محدود کردن شهرهای توسعه یافته، نیاز آشکار به ساختن چارچوب سیاست‌گذاری کلان برای حمایت از توسعه شهری و ارائه خدمات شهری وجود دارد. اما، سیاست‌گذاری ناقص و اشتباه و همسان نبودن اجرای سیاست‌ها می‌تواند توسعه شهری و ارائه

مهم ترین عوامل در سیاست گذاری توسعه محله معرفی کرده اند.

پیشینه تجربی

قیطاسی و ند [42] در راستای اتخاذ سیاست گذاری حمل و نقل عمومی شهری در حکمرانی شبکه ای به بررسی چالش های آن پرداخت و نتایج نشان داد که سازمان دهنده نهادهای مؤثر و ذی نقش، ساختار نهادها، نحوه هماهنگی نهادها، وظایف نهادها و شرایط محیطی در سیاست گذاری مؤثر هستند. دهبالایی و همکاران [22] به ارزیابی اجرای خط مشی توسعه پایدار شهری پرداختند و نتایج نشان داد مدل تحقیق شامل شش مؤلفه اهداف و استانداردهای خط مشی، منابع و ابزارهای خط مشی، مجریان خط مشی، سازمان مجری، عوامل غیرقابل کنترل و پیامدهای اجرای خط مشی است. فیروز و همکاران [19] در مطالعه چارچوب ارزیابی اجرای سیاست های توسعه محله محور بر ابعاد توسعه شامل توسعه محیطی، توسعه اجتماعی و توسعه اقتصادی و همچنین مؤلفه های تسهیل کننده و بازدارنده اجرا، فضای مجازی و منافع عمومی در بخش اجرای سیاست های توسعه محله محور تأکید کرده اند. قیطاسی و ند و همکاران [43] در بررسی محرک های تدوین خط مشی های عمومی مدیریت شهری نشان دادند که نحوه هماهنگی نهادها، شرایط محیطی، وظایف نهادها و ساختار نهادها به ترتیب مهم ترین هستند. باقر نژاد و همکاران [44] در مطالعه شناسایی و ارزیابی عوامل مؤثر بر اجرای موفق خط مشی عمومی حمایت از شرکت ها و مؤسسات دانش بنیان در کشور بر دو عامل «نظام یافتگی فنی و اجتماعی اجرا» و «پشتوانه محتوایی و عینی اجرا» تمرکز کردند و یافته های آن ها نشان داد که عامل اول بر اجرای موفق سیاست حمایت از شرکت ها و مؤسسات دانش بنیان تأثیر داشته است. رنگریز و همکاران [45] در مطالعه «شناسایی و اولویت بندی موانع اجرای خط مشی های عمومی در سازمان های دولتی»، نشان دادند که تعدد اهداف، هدف گذاری مبهم و خط مشی های غیر واقعی، بیشترین امتیاز را کسب کرده و در اولویت های نخست قرار گرفتند.

در پیشنه های خارجی، چو (Chu) و همکاران [15] به تحلیل تطبیقی عملکرد اجرای سیاست های پسماندهای جامد شهری پرداختند و نتایج این مطالعه نشان داد که عملکرد اجرای سیاست طبقه بندی اجباری بهتر از سیاست دفاعی است که در

واحد پرداخته شود تا از پیچیدگی آن کاسته شود. همچنین تعریف واضح نقش ها و مسئولیت های بازیگران سیاست ها دارای اهمیت است [26].

برخی مدیریت شهری را مجموعه ای از سیاست ها، طرح ها، برنامه ها و شیوه هایی می دانند که به طور ضعیفی به هم پیوسته اند و تلاش می کنند دسترسی به خدمات عمومی را تضمین کنند، در حالی که دیگران مدیریت شهری را مترادف مدیریت دولتی می دانند. مدیریت شهری بر اساس چشم اندازی هدایت می شود که سیاستمداران و دست اندرکاران سیاست، در عین حال باید در بافت تاریخی زیرساخت ها، جوامع و سیاست های موجود مانور دهند تا تأثیر را که بر فضای مدیریت شهری گذاشته، ادامه دهند [1].

دانایی فر و همکاران (۱۳۹۵) عوامل تشخیص مسئله، تدوین سیاست، مشروعیت بخشی به سیاست، اجرا و ارزشیابی را در فرایند سیاست گذاری نام بردند [10] و الوانی و شریف زاده (۱۳۹۴) فرایند سیاست گذاری را شامل پایش و درک مسئله، تهیه و تدوین سیاست گذاری، اجرای آن و در مرحله آخر ارزیابی آن می دانند [36]. در اجرای سیاست گذاری باید مسئولان آن را به قانون تبدیل کنند تا سیستم های انسانی، فنی، مالی و ساختاری برای اجرای آن از پشتوانه برخوردار باشند [22]. همچنین آیاندا (Iyanda) و همکاران (۲۰۱۶) عوامل سیاست گذاری را شامل عوامل محتوایی، ساختار و نهاد، پشتیبانی، مجریان و سازمان های مجری و محیطی می دانند [37]. شهرداری ها باید اهداف و اقدامات را در چهارچوب خط مشی متشکل از چهار محور، یعنی ۱) محیط و کیفیت زندگی، ۲) سیاست اجتماعی، بهداشت، آموزش، فرهنگ و ورزش، ۳) اقتصاد محلی و اشتغال و ۴) بهبود توان فنی، مدیریتی و مالی شهرداری تعریف کنند. علاوه بر این، آن ها باید شاخص های ورودی، خروجی و نتایج را تعیین کنند که بر اساس آن ها پیشرفت را زیر نظر داشته باشد [38].

مطالعات نشان داده است که توجه به برخی عوامل در فرایند سیاست گذاری های خدمات مؤثر هستند [39]. مشارکت و همکاری بین ذی نفعان و بازیگران در سیاست گذاری های دولتی لازم و ضروری است [40] و لانگ کای (Langkai) و همکاران [41] بر واقع بینی در سیاست گذاری ها، حمایت های مالی و فنی، ایجاد تعهد بین بازیگران و روابط فرهنگی را

گردآوری اطلاعات مطالعات کتابخانه‌ای است. روش جمع‌آوری داده‌ها، روش میدانی و با استفاده از ابزارهای مصاحبه و پرسش‌نامه است. در این تحقیق سه پرسش‌نامه استفاده شده است. پرسش‌نامه اول بر اساس طیف نه گزینه‌ای بوده است که خبرگان میزان اهمیت هر یک از شاخص‌ها و مؤلفه‌های مدل را بر آن اساس پاسخ دادند و برای غربالگری از روش دلفی فازی استفاده شده است. پرسش‌نامه دوم، یک پرسش‌نامه مقایسات زوجی می‌باشد که خبرگان با امتیازهای «تأثیر خیلی زیاد (۴)»، «تأثیر زیاد (۳)»، «تأثیر کم (۲)»، «تأثیر بسیار کم (۱)»، و «بدون تأثیر (۰)» برای مقایسات زوجی از آن استفاده کرده‌اند. پرسش‌نامه سوم برای اعتباربخشی مدل استفاده شده است که نمونه آماری شامل کارکنان شهرداری رشت به میزان وجود هر یک از سؤال‌ها بر اساس طیف پنج گزینه‌ای لیکرت پاسخ داده‌اند. در بخش کیفی از روش تحلیل محتوا با رویکرد استقرایی و قیاسی برای استخراج شاخص‌ها، مؤلفه‌ها و متغیرهای مدل استفاده شده است. در رویکرد استقرایی با استفاده از مصاحبه نیمه عمیق ساختاریافته با خبرگان برای استخراج کدهای باز یا شاخص‌ها اقدام شد. سپس از رویکرد قیاسی و اطلاعات به دست آمده از ادبیات نظری پیشین، مؤلفه‌ها و متغیرها توسط کدگذاری محوری و انتخابی شکل گرفتند. جامعه تحقیق در بخش کیفی شامل مدیران ارشد شهرداری‌های استان گیلان هستند که به تعداد ۱۵ نفر به روش هدفمند و نظری انتخاب شدند. معیار انتخاب نمونه اشباع نظری است. خبرگان دارای ویژگی‌هایی همچون تجربه کاری بالای ۱۵ سال در پست‌های اجرایی مرتبط با خدمات شهری، تحصیلات تکمیلی حداقل کارشناسی ارشد، آگاهی کامل به موضوع سیاست‌گذاری خدمات شهری و در دسترس هستند.

بخش کمی شامل دو بخش طراحی مدل و آزمون مدل است. برای طراحی مدل از روش تصمیم‌گیری چند معیاره دیماتل فازی استفاده شده است که روابط و اثرگذاری‌های بین متغیرهای مدل توسط خبرگان کشف و تعیین می‌شود و سپس روابط و سازه‌های مدل طراحی شده با روش مدل‌سازی معادلات ساختاری و نرم‌افزار اسمارت پی. ال. اس. آزموده و اعتبارسنجی می‌شود. در بخش طراحی مدل، مؤلفه‌های استخراج شده به روش دلفی فازی غربالگری شده است تا معتبر شود.

سرعت پیشرفت سیاست، نرخ طبقه‌بندی و نرخ رشد و مزایای اقتصادی آشکار می‌شود. همجن (Hamjen) و همکاران [46] در مطالعه با هدف شناسایی سیاست‌گذاری‌ها و اجرای آن نشان دادند که به دلیل عدم مشارکت عمومی، داده‌ها، منابع و مقررات بین اجرا و شرایط ایدئال سیاست‌گذاری فاصله وجود دارد و شکاف باید از طریق فرهنگ‌سازی به حداقل برسد تا اجرای سیاست بهینه‌تر شود. داس و بات (Das & Bhat) [3] در پیاده‌سازی و پیامدهای سیاست پذیرش جهانی وسیله نقلیه الکتریکی در خدمات شهری به این نتیجه دست یافتند که سیاست‌هایی مانند مشوق‌ها، توسعه زیرساخت‌ها، تخصیص بودجه، تحقیق و توسعه، تولید و فروش در اجرای سیاست مؤثراند. سیفوننتس - فاورا (Cifuentes-Faura) و همکاران [47] در مطالعه سیاست‌گذاری شهرداری نشان دادند که هر چه شفافیت اقتصادی و مالی بیشتر باشد و اطلاعات بیشتری در مورد قراردادهای خدمات عمومی و برنامه‌ریزی شهری و کارهای عمومی وجود داشته باشد، شهرداری کارآمدتر است، یعنی منابع کمیاب اداره‌های دولتی بهینه‌تر مدیریت می‌شوند. این برای سیاست‌گذاران مرتبط است، زیرا آن‌ها باید سیاست‌هایی را اجرا کنند که ادارات را شفاف‌تر کند، که نظارت را هم بر کاربران خدمات و هم بر مقامات عالی دولتی (منطقه ای/مرکزی) تسهیل می‌کند. رن (Ren) و همکاران [48] نبود سیاست‌های تشویقی اقتصادی و حمایت مالی ناکافی، ضعف در قوانین و مقررات و نظارت، ناهماهنگی بین نهادهای دولتی و نبود آگاهی عمومی در مشارکت و در نهایت اقدامات کنترل ارزیابی را از محدودیت‌های اجرای سیاست در اقدامات کنترل محیطی هوای شهری معرفی کرده‌اند. میر (Mir) و همکاران [49] در بررسی سیاست فعلی اجرای مدیریت پسماند جامد شهر نشان دادند که بی‌توجهی سیاسی، نگرش عمومی محدودیت‌های اصلی بر اجرای سیاست در شهر است. علاوه بر این، محدودیت‌های مالی، منابع انسانی، سیاسی، تکنولوژی و تجهیزات مدرن، لجستیکی و ضعف برنامه مدیریت یکپارچه بر اجرای موفقیت‌آمیز سیاست در شهر مؤثر می‌باشد.

روش تحقیق

این تحقیق برای طراحی مدل سیاست‌گذاری خدمات شهری شهرداری به صورت کیفی و کمی انجام شده است. روش

جدید تحت مقوله اصلی در کدگذاری انتخابی به هم متصل شدند و ابعاد الگو تشکیل شد. سپس خبرگان میزان اهمیت هر یک از شاخص ها و مؤلفه های شناسایی شده را بر اساس طیف نه گزینه ای از «بسیار کم اهمیت» تا «بسیار پر اهمیت» پاسخ دادند و دلفی در سه مرحله انجام شد. در این اقدام برخی از مؤلفه ها اصلاح شدند و در نهایت پنج متغیر همراه با ۲۰ مؤلفه و ۶۷ شاخص در مدل باقی ماندند. هفت مؤلفه شامل «تعارض و چانه زنی»، «تشریک مساعی»، «بهره مندی از فناوری ها»، «شرایط اجتماعی»، «مناسب سازی عوارض و هزینه خدمات»، «موقعیت جغرافیایی»، و «فضای کالبدی» به دلیل کسب نظرات پایین خبرگان از مدل مفهومی تحقیق حذف گردید. جدول (۱) یافته های بخش کیفی را نشان می دهد.

برای طراحی مدل روابط بین متغیرهای تحقیق با روش دیمتل فازی باید مشخص شوند. برای بررسی روابط درونی بین ابعاد و مؤلفه ها، ۱۵ نفر افراد خبره مقایسه های زوجی بین آن ها را از نقطه نظر میزان تأثیر متغیر در سطر بر متغیر در ستون بر اساس امتیاز «تأثیر خیلی زیاد (۴)»، «تأثیر زیاد (۳)»، «تأثیر کم (۲)»، «تأثیر بسیار کم (۱)»، و «بدون تأثیر (۰)» انجام دادند. سپس نظرات همه خبرگان جمع آوری و میانگین امتیازات محاسبه شد و ماتریس تصمیم فازی برای متغیرهای مدل شکل گرفت که در جداول (۲) آمده است.

در ادامه مراحل از دیمتل فازی، ماتریس نرمال شده روابط مستقیم فازی تشکیل شد. سپس ماتریس روابط کلی به دست آمد. در نهایت مجموع عناصر ستون ها و سطرهای ماتریس روابط کلی برای متغیرها محاسبه و تأثیرگذاری و تأثیرپذیری آن ها تعیین شدند. سپس تعامل متغیرها با جمع مقادیر اثرگذاری و اثرپذیری آن ها به دست آمد و در نهایت از طریق تفریق آن ها، اثرگذاری/اثرپذیری خالص محاسبه شد. جدول (۳) یافته های این بخش و شکل (۱) نقشه شبکه روابط و چگونگی اثرگذاری و اثرپذیری های متغیرها را نشان می دهد که مدیران می توانند از طریق شناخت این روابط برای بهبود تدوین و اجرای سیاست ها کمک بگیرند.

روش دلفی فازی برای مطالعات اکتشافی مناسب است که در آن خبرگان نظرات خود را در دوره های متوالی تا رسیدن به اجماع نظری واحد اعلام می کنند تا ابهامات احتمالی و عدم قطعیت های مرتبط با پاسخ ها کاهش یابد [50]. روش دیماتل فازی یک روش مناسب در ساختارهای پیچیده است که مدل ارتباطات بین پارامترهای مؤثر را مورد بررسی قرار می دهد و یک مدل ساختاری بصری را به صورت یک گراف علت و معلولی نشان می دهد تا درک روابط متقابل میان عوامل را امکان پذیر کند [51]. سپس مدل طراحی شده به روش مدل سازی معادلات ساختاری آزمون شده است. این روش از طریق ضریب هم بستگی برای تبیین میزان تأثیر متغیرها استفاده شده است. در واقع تجزیه و تحلیل استنباطی با استفاده از آزمون هایی چون ضریب هم بستگی، تحلیل عاملی تأییدی، آزمون برازش مدل، مدل اندازه گیری، و تحلیل مسیر انجام می شود. مدل معادلات ساختاری روشی مناسب برای سنجش روابط علی میان متغیرها است [52]. جامعه آماری برای آزمون مدل شامل کارکنان شهرداری رشت شامل ۴۰۰۰ نفر هستند که تعداد ۳۷۵ نفر به روش تصادفی و در هفت طبقه معاونت به فرمول کوکران انتخاب شدند که پاسخ های طیف پنج گزینه ای لیکرت آن ها با نرم افزار اسمارت پی. ال. اس. نسخه سوم آزمون شد.

یافته های تحقیق

یافته های بخش کیفی شامل استخراج شاخص ها، مؤلفه ها و متغیرهای تحقیق است که به روش تحلیل محتوایی به دست آمده است. بدین منظور مصاحبه نیمه ساختار یافته با خبرگان انجام شد و کدهای باز استخراج گردید. سپس کدهایی که در مرحله نخست از یکدیگر تفکیک شده بودند بر اساس رابطه شان با سایر کدها در ترکیبی جدید به هم متصل شدند و در مرحله کدگذاری محوری، مفاهیم (مؤلفه ها) شکل گرفت. در مرحله سوم، مقوله اصلی مورد توجه قرار گرفت که در آن مرحله کدگذاری محوری مفاهیم که در مرحله قبل از یکدیگر تفکیک شده اند، بر اساس رابطه شان با سایر مفاهیم در ترکیبی

جدول ۱ متغیرها، مؤلفه‌ها و شاخص‌های یافته‌های بخش کیفی

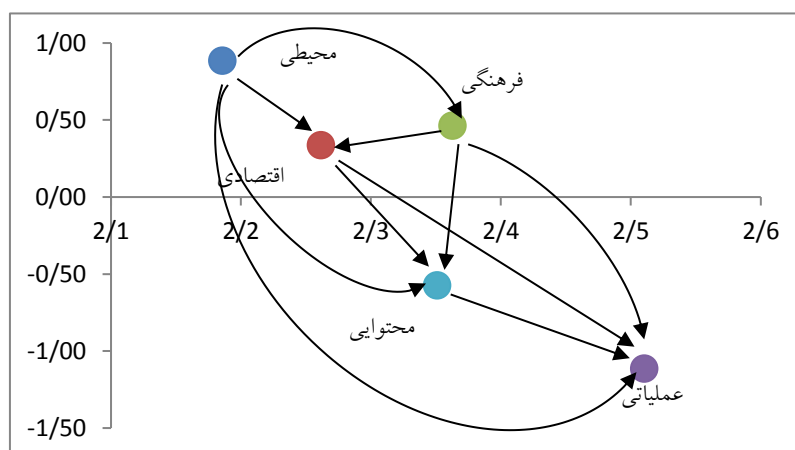
متغیرها	مؤلفه‌ها	شاخص‌ها
محیطی	قوانین	قوانین نامناسب- اجرای قانون- قوانین بالا دستی
	دولت	همراهی دولت با شهرداری- نقش دولتمردان
	شهروندان	افکار عمومی
	سازمان‌های ذی‌نقش	هماهنگی و هم‌افزایی در اجرای طرح- تأمین اعتبارات- مطالبات سیاسی
اقتصادی	مدیریت منابع	تخصیص صحیح منابع و امکانات- تخصیص به موقع و منظم منابع- اولویت‌بندی هزینه‌ها- شفاف‌سازی مالی- برآورد صحیح هزینه‌های طرح‌ها و پروژه‌ها
	پویایی درآمد	درآمدهای بالقوه- تأمین مالی سرمایه‌گذاری- آماده‌سازی بستر و قوانین برای درآمدزایی
	تولید درآمد پایدار	گردشگری- جاذبه فرهنگی و مذهبی
	اعتبارات	تخصیص اعتبارات کشوری- اعتبارات استانی
فرهنگی	فرهنگ شهروندی	مطالبه‌گری- پرداخت به موقع عوارض- مشارکت در اجرای طرح‌ها و پروژه‌ها- شاخص انتخاب اعضای شورا
	فرهنگ سازمانی	فرهنگ کار جمعی و مشارکتی- فرهنگ‌سازی- سبک‌های مدیریتی- اختیارات تصمیم‌گیری
	فرهنگ شورای اسلامی شهر	توجه به نقاط کم‌برخوردار- توانایی کار جمعی و مشارکتی- تخصص‌گرایی اعضای شورای فرهنگ سازمان‌های بالادستی و نظارتی
	فرهنگ سازمان‌های بالادستی و نظارتی	توجه به بهره‌وری- رویکرد اجرایی به قوانین و مقررات- تمرکززدایی
عملیاتی	ظرفیت‌های انسانی	تخصص- شایستگی- آموزش نیروی انسانی- پرداختی‌ها و جبران خدمات نیروی انسانی- انگیزه کارکنان- تعهد اجرایی مدیریت
	ارزیابی	اخذ بازخورد و اقدامات اصلاحی- نظارت‌ها- شاخص‌های استاندارد و واقعی ارزیابی- دانش و تخصص ممیزان
	هماهنگی نهادی	مدیریت یکپارچه شهری- همکاری و هماهنگی پروژه‌های بین بخشی- همکاری و هماهنگی در اجرای سیاست با مجریان
	اجرایی	تعریف درست و تخصصی گام‌های اجرایی- زمان مناسب اجرا- برنامه‌ریزی- انتخاب درست افراد- واضح بودن وظایف و هماهنگی در وظایف بخشی
محتوایی	جامعه (شهر)	رضایتمندی عمومی- بی‌تفاوتی و انفعال
	سیاست‌گذاران	تجربه، تخصص و دانش- آگاهی و اشراف اطلاعاتی به مسائل- اندیشه راهبردی- تأکید بر منافع عمومی
	مجریان	ریسک‌پذیر- سلامت نفس- متخصص

جدول ۲ ماتریس روابط مستقیم فازی بین متغیرهای سیاست‌گذاری خدمات شهری

	C5			C4			C3			C2			C1			
	کران بالا	کران میانی	کران پایین	کران بالا	کران میانی	کران پایین	کران بالا	کران میانی	کران پایین	کران بالا	کران میانی	کران پایین	کران بالا	کران میانی	کران پایین	
C1	۰/۵۴۲	۰/۷۹۲	۰/۹۵۸	۰/۶۶۷	۰/۹۱۷	۱	۰/۳۷۵	۰/۶۲۵	۰/۸۷۵	۰/۲۰۸	۰/۴۵۸	۰/۷۰۸	۰	۰	۰	
C2	۰/۵	۰/۷۵	۰/۹۵۸	۰/۶۶۷	۰/۹۱۷	۱	۰	۰/۲۵	۰/۵	۰	۰	۰	۰/۱۶۷	۰/۴۱۷	۰/۶۶۷	
C3	۰/۴۵۸	۰/۷۰۸	۰/۹۵۸	۰/۶۶۷	۰/۹۱۷	۰/۹۵۸	۰	۰	۰	۰/۴۱۷	۰/۶۶۷	۰/۹۱۷	۰/۰۴۲	۰/۲۵	۰/۵	
C4	۰/۱۲۵	۰/۳۷۵	۰/۶۲۵	۰	۰	۰	۰/۰۴۲	۰/۲۹۲	۰/۵۴۲	۰	۰/۱۶۷	۰/۴۱۷	۰	۰/۰۴۲	۰/۲۹۲	
C5	۰	۰	۰	۰/۵۸۳	۰/۸۳۳	۰/۹۵۸	۰/۰۴۲	۰/۲۹۲	۰/۵۴۲	۰	۰/۲۰۸	۰/۴۵۸	۰	۰/۰۸۳	۰/۳۳۳	

جدول ۳ مقادیر اثرگذاری، اثرپذیری، تعامل، و اثرگذاری/ اثرپذیری خالص متغیرها

ابعاد	اثرگذاری	اثرپذیری	تعامل	اثرگذاری/ اثرپذیری خالص	نتیجه
محیطی	۱/۵۴	۰/۶۵	۲/۱۹	۰/۸۸۶	علت
اقتصادی	۱/۳	۰/۹۶	۲/۲۶	۰/۳۳۷	علت
فرهنگی	۱/۴۱	۰/۹۵	۲/۳۶	۰/۴۶۴	علت
عملیاتی	۰/۷	۱/۸۱	۲/۵۱	-۱/۱۱	معلول
محتوایی	۰/۸۹	۱/۴۶	۲/۳۵	-۰/۵۷	معلول



شکل ۱ نقشه شبکه روابط بین متغیرهای مدل سیاست گذاری در حوزه خدمات شهری

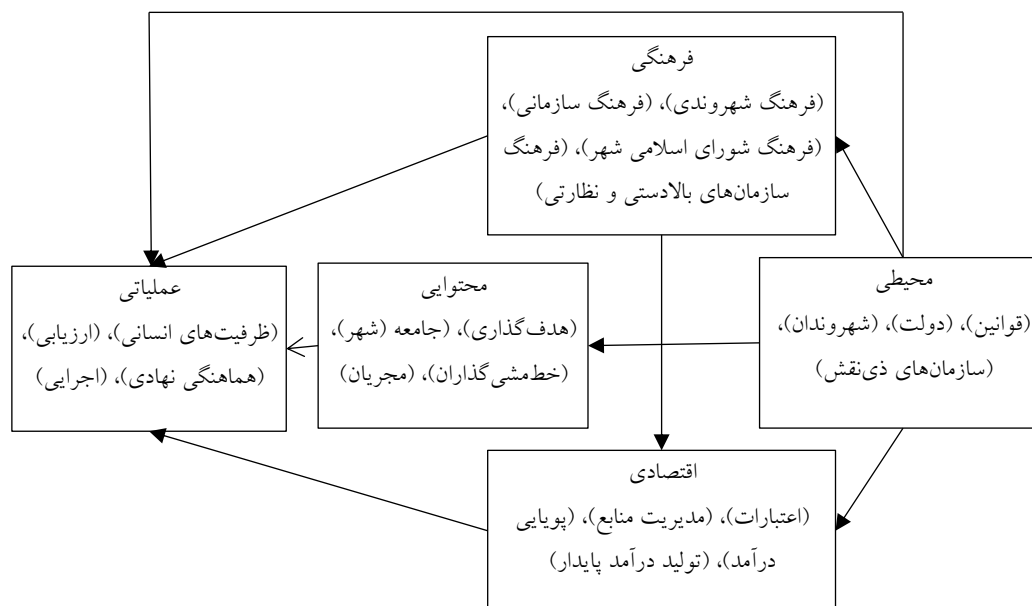
بودن خود از عوامل بیرونی و حکمرانی تأثیر می پذیرند. همچنین برای عملیاتی شدن مناسب سیاست گذاری ها، باید به عوامل محتوایی سیاست گذاری توجه کرد. عوامل محتوایی مناسب می توانند عملیاتی شدن سیاست ها را تضمین کنند.

برای آزمون روابط مدل طراحی شده، داده های ۳۷۵ نفر از کارکنان بر اساس طیف پنج گزینه ای لیکرت جمع آوری و با نرم افزار اسمارت پی. ال. اس. اجرا شد. یافته های توصیف متغیرها در جدول (۴) آمده است. بر اساس یافته های جدول (۴) مقدار چولگی و کشیدگی متغیرها خارج باز (۱، -۱) است که نشان از توزیع غیر نرمال داده ها است و بنابراین می توان از نرم افزار اسمارت پی. ال. اس. استفاده کرد [53].

برای ارزیابی مدل اندازه گیری از میانگین واریانس برای روایی همگرا، از شاخص فورنل و لاکر برای روایی واگرا، از بار عاملی، پایایی ترکیبی و آلفای کرونباخ برای پایایی مدل اندازه گیری استفاده شده است. یافته ها در جدول (۵) آمده است.

جدول (۳) و شکل (۱) اثرگذاری/ اثرپذیری خالص قدرت تأثیرگذاری یا تأثیرپذیری هر متغیر را نشان می دهد. به طور کلی، اگر خالص اثرپذیری/ اثرگذاری مثبت باشد، آن متغیر علت می باشد و اگر منفی باشد، متغیر معلول است. بنابراین، متغیرهای «محیطی»، «فرهنگی» و «اقتصادی» به ترتیب علت هستند که متغیر «محیطی» تأثیرگذارترین است. همچنین متغیرهای «محتوایی» و «عملیاتی» معلول هستند که در این بین «عملیاتی» تأثیرپذیرترین است. این یافته ها نشان می دهد که متغیر عملیاتی برای تدوین و اجرای سیاست گذاری یک مسئله و چالش است که باید هر چه سریع تر توسط متغیرهای تأثیرگذار بهبود یابد و مدیران برای تدوین و اجرای مدل سیاست گذاری بر متغیرهای تأثیرگذار یا مستقل تمرکز کنند.

شکل (۲) مدل سیاست گذاری در حوزه خدمات شهری شهرداری را نشان می دهد. روابط بین متغیرهای مدل بر اساس شکل (۱) و نقشه شبکه روابط به دست آمده است. در این مدل مشخص شده است که عوامل محیطی تأثیرگذارترین در سیاست گذاری می باشد و شهرداری ها به لحاظ ماهیت دولتی



شکل ۲ مدل سیاست‌گذاری در حوزه خدمات شهری شهرداری

جدول ۴ توصیف متغیرهای مدل سیاست‌گذاری در حوزه خدمات شهری شهرداری

متغیر	تعداد	کمترین	بیشترین	میانگین	انحراف معیار	چولگی	کشدگی
محیطی	۳۷۵	۱/۳۳	۵	۴/۰۷۲	۰/۷۵۳	-۱/۵۵۵	۳/۲۲۵
اقتصادی	۳۷۵	۱	۵	۴/۰۶۱	۰/۸۲۶	-۱/۱۷۷	۲/۰۴۷
فرهنگی	۳۷۵	۱/۲۱	۵	۴/۲۳۸	۰/۸۰۳	-۱/۸۷۳	۴/۱۸۳
عملیاتی	۳۷۵	۱/۳۹	۵	۴/۰۹۷	۰/۷۸۲	-۱/۳۹۴	۲/۵۳۷
محتوایی	۳۷۵	۱/۷۱	۵	۴/۱۶۵	۰/۷۵۷	-۱/۱۹۴	۱/۵۱۳

کرده‌ایم. روایی و اگر از طریق ارتباط بین میانگین واریانس و هم‌بستگی بین متغیرها سنجیده می‌شود. همان گونه که یافته‌ها نشان می‌دهد، مقادیر جذر میانگین واریانس در قطر اصلی ماتریس هم‌بستگی از ضرایب هم‌بستگی بیشتر است و نشان از تأیید روایی و اگر ای مدل نهایی دارد.

بعد از تأیید مدل اندازه‌گیری، مدل ساختاری را ارزیابی می‌کنیم. شکل (۳) مدل ساختاری با ضرایب هم‌بستگی و شکل (۴) مقادیر معنی‌داری آماره را نشان می‌دهد. در ادامه، برای ارزیابی مدل ساختاری شاخص اعتبار اشتراک، اعتبار افزونگی و برای برازندگی مدل ساختاری از ضریب تعیین R^2 استفاده کردیم. این یافته‌ها در جدول (۷) آمده است.

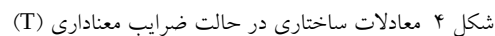
همان گونه که یافته‌های جدول (۵) نشان می‌دهد، بار عاملی شاخص‌های تشکیل دهنده سازه‌ها بیشتر از ۰/۵ هستند، بنابراین شاخص‌ها توانسته‌اند سازه‌ها را به خوبی توضیح دهند و نیاز به اصلاح نیست و طبق نظر هنسeler (Henseler) و همکاران [54] قابل قبول است. همچنین بر اساس نظر هنسeler و همکاران [54] مقادیر میانگین واریانس هر یک از متغیرهای اصلی بیش از ۰/۵، ضریب آلفای کرونباخ بزرگ‌تر از ۰/۷، و پایایی ترکیبی مقداری بالاتر از ۰/۷ است و این یافته‌ها نشان می‌دهد که مدل اندازه‌گیری مناسب و برای مدل سیاست‌گذاری در حوزه خدمات شهری شهرداری مورد تأیید می‌باشد. جدول (۶) روش فورنل و لاکر را نشان می‌دهد که از این طریق روایی و اگر ای مدل‌های اندازه‌گیری و هم‌بستگی بین متغیرها را بررسی

جدول ۵ روایی و پایایی مدل اندازه گیری سیاست گذاری در حوزه خدمات شهری شهرداری

متغیر	تعداد سؤالات	پایایی		روایی همگرا
		ضریب آلفای کرونباخ	پایایی ترکیبی	
محیطی	-	۰/۹۳۸	۰/۹۴۹	۰/۶۷۶
قوانین	۳	۰/۸۵۸	۰/۹۱۶	۰/۷۸۵
دولت	۲	۰/۸۸۹	۰/۹۴۷	۰/۹۰۰
شهروندان	۱	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰
سازمان های ذی نقش	۳	۰/۷۹۹	۰/۸۸۲	۰/۷۱۶
اقتصادی	-	۰/۹۸۶	۰/۹۸۷	۰/۸۶۶
اعتبارات	۲	۰/۹۷۲	۰/۹۸۶	۰/۹۷۳
مدیریت منابع	۵	۰/۹۴۹	۰/۹۶۱	۰/۸۳۱
پویایی درآمد	۳	۰/۹۵۴	۰/۹۷۱	۰/۹۱۷
تولید درآمد پایدار	۲	۰/۹۳۸	۰/۹۷۰	۰/۹۴۱
فرهنگی	-	۰/۹۷۷	۰/۹۷۹	۰/۷۷۴
فرهنگ شهروندی	۴	۰/۹۴۰	۰/۹۵۸	۰/۸۵۰
فرهنگ سازمانی	۴	۰/۸۸۵	۰/۹۲۲	۰/۷۴۸
فرهنگ شورای اسلامی شهر	۳	۰/۹۱۱	۰/۹۴۵	۰/۸۵۱
فرهنگ سازمان های بالادستی و نظارتی	۳	۰/۹۰۴	۰/۹۴۰	۰/۸۳۸
عملیاتی	-	۰/۹۷۶	۰/۹۷۸	۰/۷۱۳
منابع انسانی	۶	۰/۹۳۱	۰/۹۴۶	۰/۷۴۶
ارزیابی	۴	۰/۹۱۸	۰/۹۴۲	۰/۸۰۴
هماهنگی نهادی	۳	۰/۹۱۲	۰/۹۴۴	۰/۸۵۰
اجرائی	۵	۰/۹۰۱	۰/۹۲۸	۰/۷۲۱
محتوایی	-	۰/۹۷۲	۰/۹۷۷	۰/۷۵۳
اهداف	۵	۰/۹۳۵	۰/۹۵۱	۰/۷۹۶
جامعه (شهر)	۲	۰/۷۴۲	۰/۸۸۵	۰/۷۹۴
خط مشی گذاران	۴	۰/۹۰۲	۰/۹۳۲	۰/۷۷۶
مجریان	۳	۰/۹۱۸	۰/۹۴۹	۰/۸۶۱

جدول ۶ ضرایب هم بستگی و روایی واگرا میان متغیرهای مدل سیاست گذاری در حوزه خدمات شهری شهرداری

متغیرها	محیطی	اقتصادی	فرهنگی	عملیاتی	محتوایی	میانگین واریانس
محیطی	۰/۸۲۲					۰/۶۷۶
اقتصادی	۰/۷۸۷	۰/۹۳۱				۰/۸۶۶
فرهنگی	۰/۸۸۷	۰/۷۵۸	۰/۸۸۰			۰/۷۷۴
عملیاتی	۰/۹۷۶	۰/۸۱۳	۰/۸۸۵	۰/۸۴۴		۰/۷۱۳
محتوایی	۰/۹۷۲	۰/۷۹۶	۰/۸۶۳	۰/۹۷۲	۰/۸۶۸	۰/۷۵۳



همان‌گونه که جدول (۷) نشان می‌دهد، نتایج مقادیر شاخص‌های اشتراکی و افزونگی مثبت است که نشان دهنده کیفیت مناسب مدل ساختاری است و از طرفی ضریب تبیین به عدد یک نزدیک‌تر است و این نشان از تأیید برازش چهارچوب مدل پژوهش دارد. بر اساس یافته‌های جدول (۷) در مجموع چهار متغیر محیطی، فرهنگی، اقتصادی و محتوایی تا ۹۶ درصد توانسته‌اند متغیر عملیاتی که تأثیرپذیرترین متغیر است را توضیح و تبیین کنند.

بر اساس یافته‌های جدول (۸) رابطه بین متغیرهای «فرهنگی» با «محتوایی» و «اقتصادی» با «محتوایی» به دلیل کمتر بودن مقدار آماره t از ۱/۹۶ تأیید نشده است. این یافته نشان می‌دهد که عوامل فرهنگی و اقتصادی در شهرداری‌ها نتوانسته است هدف گذاری‌ها و آینده‌نگری سیاست گذاری‌ها را به درستی انجام دهد و علاوه بر این، مجریان نیز در اجرای سیاست‌ها با مشکلاتی مواجه بوده‌اند که عوامل اقتصادی و فرهنگی موجود در کمک به آن عاجز بوده‌اند. همچنین بر اساس یافته‌ها، رابطه متغیر «محیطی» با «فرهنگی» ($\beta = 0/886$ ، $t\text{-value} = 3/765$)، «اقتصادی» ($\beta = 0/537$ ، $t\text{-value} = 19/038$)، «محتوایی» ($\beta = 0/922$ ، $t\text{-value} = 13/724$) و «عملیاتی» ($\beta = 0/48$ ، $t\text{-value} = 4/236$) تأیید شده است. علاوه بر این عوامل فرهنگی توانسته است بر متغیرهای «اقتصادی» ($\beta = 0/282$ ، $t\text{-value} = 2/068$) و «عملیاتی» ($\beta = 0/072$ ، $t\text{-value} = 2/10$) اثر مثبت و معنی داری بگذارد. در نهایت متغیر عملیاتی نیز از دو متغیر «اقتصادی» ($\beta = 0/077$ ، $t\text{-value} = 2/659$) و «محتوایی» ($\beta = 0/382$ ، $t\text{-value} = 3/433$) به صورت مثبت اثر می‌پذیرد.

جدول ۷ شاخص‌های اشتراکی و افزونگی و ضریب تبیین مدل سیاست گذاری در حوزه خدمات شهری شهرداری

متغیر	شاخص اشتراک	شاخص افزونگی	R^2
محیطی	۰/۶۷۶	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
قوانین	۰/۷۸۵	۰/۷۲۵	۰/۹۲۳
دولت	۰/۹	۰/۶۸۶	۰/۷۶۶
شهروندان	۱	۰/۸۶۸	۰/۸۶۳
سازمان‌های ذی‌نقش	۰/۷۱۶	۰/۵۵۵	۰/۷۸۰
اقتصادی	۰/۸۶۶	۰/۴۸۲	۰/۶۳۷
اعتبارات	۰/۹۷۳	۰/۹۲۰	۰/۹۴۶
مدیریت منابع	۰/۸۳۱	۰/۸۱۳	۰/۹۷۸
پویایی درآمد	۰/۹۱۷	۰/۸۸۸	۰/۹۷۱
تولید درآمد پایدار	۰/۹۴۱	۰/۹۱۱	۰/۹۶۹
فرهنگی	۰/۷۷۴	۰/۶۰۵	۰/۷۸۶
فرهنگ شهروندی	۰/۸۵۰	۰/۸۱۵	۰/۹۶۰
فرهنگ سازمانی	۰/۷۴۸	۰/۷۲۷	۰/۹۷۴
فرهنگ شورای اسلامی شهر	۰/۸۵۱	۰/۷۹۹	۰/۹۳۹
فرهنگ سازمان‌های بالادستی و نظارتی	۰/۸۳۸	۰/۷۵۷	۰/۹۰۵
عملیاتی	۰/۷۱۳	۰/۵۰۲	۰/۹۶۶
منابع انسانی	۰/۷۴۶	۰/۷۲۱	۰/۹۶۹
ارزیابی	۰/۸۰۴	۰/۷۴۹	۰/۹۳۵
هماهنگی نهادی	۰/۸۵۰	۰/۷۷۷	۰/۹۲۱
اجرایی	۰/۷۲۱	۰/۶۳۰	۰/۸۷۹
محتوایی	۰/۷۵۳	۰/۷۰۸	۰/۹۴۷
اهداف	۰/۷۹۶	۰/۷۷۳	۰/۹۷۲
جامعه (شهر)	۰/۷۹۴	۰/۶۰۰	۰/۷۶۲
سیاست‌گذاران	۰/۷۷۶	۰/۷۴۳	۰/۹۶۲
مجریان	۰/۸۶۱	۰/۸۳۱	۰/۹۶۶

جدول ۸ ضرایب بتا و مقادیر معناداری مربوط به هر یک از روابط بین متغیرهای مدل سیاست‌گذاری در حوزه خدمات شهری شهرداری

رديف	متغیرهای وابسته	ضریب بتا	مقدار معناداری	نتایج فرضیه
رابطه ۱	عامل محیطی ← عامل فرهنگی	۰/۸۸۶	۱۹/۰۳۸	تأیید
رابطه ۲	عامل محیطی ← عامل اقتصادی	۰/۵۳۷	۳/۷۶۵	تأیید
رابطه ۳	عامل محیطی ← عامل محتوایی	۰/۹۲۲	۱۳/۷۲۴	تأیید
رابطه ۴	عامل محیطی ← عامل عملیاتی	۰/۴۸	۴/۲۳۶	تأیید
رابطه ۵	عامل فرهنگی ← عامل اقتصادی	۰/۲۸۲	۲/۰۶۸	تأیید
رابطه ۶	عامل فرهنگی ← عامل محتوایی	-۰/۰۱۷	۰/۳۴۵	رد
رابطه ۷	عامل فرهنگی ← عامل عملیاتی	۰/۰۷۲	۲/۱۰	تأیید
رابطه ۸	عامل اقتصادی ← عامل محتوایی	۰/۰۸۲	۱/۵۱۶	رد
رابطه ۹	عامل اقتصادی ← عامل عملیاتی	۰/۰۷۷	۲/۶۵۹	تأیید
رابطه ۱۰	عامل محتوایی ← عامل عملیاتی	۰/۳۸۲	۳/۴۳۳	تأیید

بحث و نتیجه‌گیری

است و قوانین، دولت، شهروندان و سازمان‌های ذی‌نقش می‌تواند در سیاست‌گذاری‌های خدمات شهری مؤثر باشند. از طرفی دیگر، یافته‌ها نشان می‌دهد که متغیر «عملیاتی» تأثیرپذیرترین متغیر در سیاست‌گذاری‌های حوزه خدمات شهری شهرداری است و موفقیت سیاست‌گذاری‌ها بستگی به ویژگی‌های متغیر «عملیاتی» دارد و به این بعد وابسته است. سیاست‌گذاری باید قابلیت عملیاتی شدن را داشته باشد و در اجرای آن باید به عوامل انسانی توجه کرد. بنابراین، اجرا و عملکرد درست در اجرای قانون، زیرساخت‌های کافی، هماهنگی و ارزیابی از ابزارهای مهم سیاست‌گذاری است.

علاوه بر این، یافته‌های بخش آزمون مدل به روش مدل‌سازی معادلات ساختاری نشان می‌دهد که متغیر محیطی بر متغیرهای فرهنگی، اقتصادی، محتوایی و عملیاتی تأثیر مثبت و معنی‌داری دارد. این یافته نشان می‌دهد که قوانین، دولت، شهروندان و سازمان‌های ذی‌نقش در اجرای سیاست‌گذاری‌ها نقش مهمی داشته‌اند. بر این اساس حمایت دولت از ایجاد قوانین مناسب برای هماهنگی و هم‌افزایی در اجرای طرح بسیار مفید است. بنابراین، ایجاد و حفظ پشتیبانی سیاسی برای اجرای سیاست‌های یکپارچه ضروری است. برای بهبود و افزایش این رابطه به مدیران پیشنهاد می‌شود دولت و سازمان شهرداری‌ها قانون مناسب و به روز را برای هماهنگی و هم‌افزایی در اجرای سیاست‌گذاری‌ها، قوانین مربوط به مدیریت منابع و درآمدها در نظر بگیرند. علاوه بر این، حمایت مالی و تأمین اعتبارات از

این تحقیق با هدف طراحی مدل سیاست‌گذاری خدمات شهری شهرداری در دو فاز کیفی و کمی انجام شده است. یافته‌های بخش کیفی تحلیل محتوا نشان داد که مدل دارای پنج متغیر «محیطی»، «اقتصادی»، «فرهنگی»، «عملیاتی»، و «محتوایی» است که به همراه ۲۰ مؤلفه و ۶۷ شاخص از طریق کدگذاری استخراج شدند. آنچه که تحقیق ما را برحسته کرده است، تأکید خبرگان و تأیید آن بر متغیرهای «فرهنگی» و «محتوایی» در سیاست‌گذاری‌های خدمات شهری است که در مطالعات گذشته یافت نشده بود. این یافته به این دلیل است که در خدمات شهری مردم در اجرای سیاست‌ها دخیل هستند و در این زمینه فرهنگ مشارکت آن‌ها می‌تواند کمک کننده باشد. علاوه بر مشارکت مردم، فرهنگ احساس مسئولیت و تعهد نسبت به وظایف و مسئولیت‌ها در سازمان‌ها نیز می‌تواند در اجرای آن مهم باشد. شکاف‌ها در سیاست‌های مدیریتی و استراتژی‌های کنترلی از مهم‌ترین دلایل شکست سیاست مدیریت شهری می‌باشد که سیاست‌ها و اقتصاد مؤثر بوده است که می‌توان با انجام اقدامات هماهنگ و مشترک در بخش‌های مختلف، به مشکلات سیاست‌گذاری غلبه کرد.

یافته‌های بخش کمی و نتایج دیماتل فازی نشان داد که متغیر «محیطی» تأثیرگذارترین است و نشان دهنده تأثیر مهم عوامل محیطی و حمایتی بیرونی بر هدایت سیاست‌گذاری‌ها به سمت اهداف سازمانی است. یک سیستم متأثر از عوامل محیطی

طرف دولت می تواند کارساز باشد.

همچنین نتایج نشان داد که متغیر فرهنگی بر اقتصادی و عملیاتی تأثیر مثبت و معناداری دارد. وجود فرهنگ سازمانی با سبک های مشارکتی و مبتنی بر رویکرد اجرایی به قوانین و مقررات می تواند موجب بهبود همکاری و هماهنگی در اجرای سیاست شده و در نهایت از شکست پروژه و هزینه های متعاقب آن پیشگیری کند. بنابراین، وجود هماهنگی بین نهادها و مشارکت سازمان ها می تواند بر اجرا و ارزیابی اجرای سیاست فعالیت های شهری مؤثر باشد. برای بهبود این رابطه توصیه می شود مدیران فرهنگ مبتنی بر کار جمعی و مشارکتی، واگذاری اختیارات تصمیم گیری مبتنی بر سبک های مدیریتی در محیط اجرای سیاست گذاری مد نظر قرار بدهند. علاوه بر این ایجاد انگیزه برای مشارکت مردم در اجرای طرح ها و پروژه ها نیز در بهبود متغیر فرهنگی بسیار مؤثر است.

در نهایت متغیرهای «محتوایی» و «اقتصادی» بر «عملیاتی» تأثیر مثبت و معنی داری دارد. بر اساس این یافته، اهداف واضح و واقع بینانه، لحاظ کردن و اولویت دغدغه عمومی در سیاست گذاری ها می تواند بر نظارت و اجرای عملیات آن مؤثر باشد. همچنین تخصیص به موقع اعتبارات و تأمین مالی سرمایه گذاری بر اجرای سریع سیاست ها مهم است. برای بهبود این رابطه پیشنهاد می شود مدیران در تدوین سیاست گذاری ها، برنامه ها را واضح و جزئی مطرح کنند و از افراد متخصص و

زبده برای تدوین سیاست ها کمک بگیرند تا در اجرای عملیات موفق شوند. علاوه بر این، اخذ بازخورد و اقدامات اصلاحی و نظارت ها بر اساس شاخص های استاندارد و واقعی برای ارزیابی سیاست ها در نظر گرفته شود.

این تحقیق در بازه مقطعی انجام شده است و یکی از محدودیت های آن احتیاط در تعمیم یافته های این تحقیق به سازمان های دیگر و آتی است که پیشنهاد می شود مطالعه حاضر در جامعه بزرگ تر و سازمان های خدماتی دیگر پیاده سازی شود و نتایج مقایسه گردد.

در پایان با توجه به اهمیت یافتن عوامل فرهنگی در اجرای سیاست در این تحقیق، پیشنهاد می شود پژوهشگران به تحلیل و بررسی نقش فرهنگ مشارکتی در سیاست گذاری بپردازند. همچنین مطالعه سیاست توسعه ای مشارکت مردم در اجرای سیاست گذاری بر اساس یافته های تحقیق می تواند به نتایج بعدی کمک کند.

سپاسگزاری

از تمامی اساتید محترم و همچنین افرادی که در انجام این مطالعه همکاری کردند، سپاسگزاری می کنم.

مراجع

- [1] Z. Engin, J. van Dijk, T. Lan, P. A. Longley, P. Treleaven, M. Batty and A. Penn, "Data-driven urban management: Mapping the landscape", *Journal of Urban Management*, vol. 9, no. 2, pp. 140-150, (2020). <https://doi.org/10.1016/j.jum.2019.12.001>.
- [2] R. Biswas, A. Jana, K. Arya and K. Ramamritham, "A good-governance framework for urban management", *Journal of Urban Management*, vol. 8, no. 2, pp. 225-236, (2019). <https://doi.org/10.1016/j.jum.2018.12.009>.
- [3] P. K. Das, M. Y. Bhat, "Global electric vehicle adoption: implementation and policy implications for India", *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 29, no. 27, pp. 40612-40622, (2022). <https://doi.org/10.1007/s11356-021-18211-w>.
- [4] U. Mans, S. Giest and T. Baar, "Can Big Data make a difference for urban management", *Elmqvist, Thomas; Bai, Xuemei; Frantzeskaki, Niki; Griffith, Corrie*, 218-238, (2018). <https://doi.org/10.1017/9781316647554.013>.
- [5] M. Lowe, D. Adlakha, J. F. Sallis, D. Salvo, E. Cerin, A. V. Moudon and B. Giles-Corti, "City planning policies to

- support health and sustainability: an international comparison of policy indicators for 25 cities”, *The Lancet global health*, vol. 10, no. 6, pp. e882-e894, (2022). [https://doi.org/10.1016/S2214-109X\(22\)00069-9](https://doi.org/10.1016/S2214-109X(22)00069-9).
- [6] E. Farahmand, A. Imani, “Identifying and Prioritizing Public Participation Strategies In Policy-Making Using Community-Based Approach (Case Study: Talouqan Municipality, Takhar Province, Afghanistan)”, *Public Management Researches*, vol. 14, no. 654, pp. 85-113, (2021). <https://doi.org/10.22111/jmr.2022.40854.5673>.
- [7] W. Yang, “Pro-growth urban policy implementation vs urban shrinkage: How do actors shift policy implementation in shrinking cities in China?”, *Cities*, vol. 134, pp. 104157, (2023). <https://doi.org/10.1016/j.cities.2022.104157>.
- [8] I. Nwafor-Orizu, O. M. Chinyere and E. K. Tochukwu, “Public policy formulation and implementation in Nigeria: questions, challenges and prospects”, *Global Journal of Management and Business Research: An Administration and Management*, vol. 18, no. 13, pp. 44-52, (2018).
- [9] I. Widiastuti, N. Suryawati, “Implementation of smart city development policy in Bandung city, Indonesia”, *IJEED (International Journal of Entrepreneurship and Business Development)*, vol. 4, no. 1, pp. 91-98, (2021). <https://doi.org/10.29138/ijeed.v4i1.1271>.
- [10] H. Danaee Fard, Z. shokri, A. Faani and L. Forouzandeh, “Presenting a Model of Effective Factors on Quality Evaluation of Iran's General Policies”, *MILITARY MANAGEMENT QUARTERLY*, vol. 16, no. 64, pp. 42-66, (2021). (In Persian).
- [11] S. E. Abdolmanafi Rokni, T. vedadi, S. A. Saadatjoo, S. Fatemi and S. A. Ziaee, “Modeling pedestrian flow in urban pedestrian facilities using meta-heuristic algorithms (Case study: Rasht city)”, *Ferdowsi Civil Engineering*, vol. 34, no. 4, pp. 45-54, (2021). (In Persian). <https://doi.org/10.22067/jfcei.2022.73898.1088>.
- [12] M. Kadkhodaei, S. A. Ziaee, R. Shad, “Prioritization of traffic congestion control strategies in metropolitan areas, case study: Mashhad”, *Ferdowsi Civil Engineering*, vol. 34, no. 3, pp. 81-97, (2021). (In Persian) <https://doi.org/10.22067/jfcei.2022.73919.1091.2021>.
- [13] C. Temenos, J. Lauermann, “The urban politics of policy failure”, *Urban Geography*, pp. 1–10. (2020). <https://doi.org/10.1080/02723638.2020.1827194>
- [14] J. Lieu, N. A. Spyridaki, R. Alvarez-Tinoco, W. Van der Gaast, A. Tuerk and O. Van Vliet, “Evaluating consistency in environmental policy mixes through policy, stakeholder, and contextual interactions”, *Sustainability*, vol. 10, no. 6, pp. 1896, (2018). <https://doi.org/10.3390/su10061896>.
- [15] X. Chu, Z. Chu, X. Wang, W. C. Huang and Y. Ni, “Comparative analysis on the performances of implementing compulsory and advocative policies in municipal solid waste classification”, *Environmental Impact Assessment Review*, vol. 99, pp. 106982, (2023). <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2022.106982>
- [16] P. Ildarabadi, A. R. Mehrdoust and J. Alamatian, “A New Approach for Evaluation of Workshops of tTall bBuildigns in Mashhad by HSE Approach (case study: construction projects)”, *Ferdowsi Civil Engineering*, vol. 33, no. 2, pp. 21-38, (2020). (In Persian). <https://doi.org/10.22067/civil.v33i2.80920>
- [17] N. Kabisch, “Ecosystem service implementation and governance challenges in urban green space planning—The case of Berlin, Germany”, *Land use policy*, vol. 42, pp. 557-567, (2015). <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2014.09.005>

- [18] S. Jahandideh, M. H. Rahmati and H. Zareei Matin, "Modeling the Network Policymaking in the Tourism in Iran", *Organizational Culture Management*, vol. 15, no. 3, pp. 483-502, (2017). (In Persian) <https://doi.org/10.22059/jomc.2017.128786.1006483>
- [19] H. Firouz, F. Sharifzadeh, V. Ghorbanzadeh, D. Hosseinpour, "Framework for evaluating the implementation of neighborhood-oriented development policies in Tehran Municipality," *Journal of Urban Economics and Management*, vol. 11, no. 41, pp. 95-114, 2023. (In Persian).
- [20] M. S. Bavar, A. Naderan, M. Saffarzadeh, "Evaluating the Spatial Impacts of Environmental Factors on the Frequency of Urban Crashes using the Spatial Bayes Method based on Euclidean Distance and Contiguity", *Ferdowsi Civil Engineering*, vol. 36, no. 2, pp. 1-20, (2023). (In Persian) . <https://doi.org/10.22067/jfcei.2023.80940.1213>
- [21] J. Wu, C. Zuidema, K. Gugerell and G. Roo, "Mind the gap! Barriers and implementation deficiencies of energy policies at the local scale in urban China", *Energy Policy*, vol. 106, pp. 201–211. (2017). <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2014.09.005>
- [22] M. Dehbalaei, G. Memarzadeh Tehran and K. Daneshfard, "Designing a model for evaluating the implementation of the sustainable urban development policy in the framework of the sixth plan", *Quarterly Journal of The Macro and Strategic Policies*, 10, pp. 180-205. 2022). (In Persian). <https://doi.org/10.30507/jmsp.2021.291821.2285>
- [23] V. Ghorbanizadeh, F. Sharifzadeh, D. Hosseinpour and M. Moravvej, "Presenting Policy Making Model for the Cultural Organizations (in Case: Institute for the Intellectual Development of Children and Young Adult)", *Iranian Journal of Public Policy*, vol. 3, no. 3, pp. 61-78, (2017). (In Persian) <https://doi.org/10.22059/ppolicy.2017.64171>
- [24] M. Sedigh Bavar, A. Naderan and M. Saffarzadeh, "The spatial effect of the contribution of land use types in the occurrence of accidents based on traffic area zones (Case study: Shiraz metropolis)", *Ferdowsi Civil Engineering*, vol. 36, no. 3, pp. 1-16, (2023). (In Persian) <https://doi.org/10.22067/jfcei.2023.80945.1214>
- [25] S. Rezaeinasab, A. Tayefi Nasrabadi, S. Asadi and S. A. Haj Seiyed Taghia, "Investigating the potential of designing net-zero energy buildings using photovoltaic installation with considering urban development plans requirements", *Ferdowsi Civil Engineering*, vol. 36, no. 1, pp. 51-68, (2023). (In Persian). <https://doi.org/10.22067/jfcei.2023.79510.1190>
- [26] L. Husain, G. Bloom and Y. Xiao, "Building policy capacity for managing rapid, complex change in China's health system", *Policy and Society*, vol. 42, no. 1, pp. 28-48, (2023). <https://doi.org/10.1080/14494035.2021.1933336>
- [27] Z. Shokri, M. Kheyrgu, "How to evaluate the quality of public policies in Iran: Exploration's Mixed Methodology Research", *Public Organizations Management*, vol. 6, no. 2, pp. 79-94, (2018). (In Persian). <https://dorl.net/dor/20.1001.1.2322522.1397.6.0.25.4>
- [28] V. Rozhenkova, S. Allmang, S. Ly, D. Franken and J. Heymann, "The role of comparative city policy data in assessing progress toward the urban SDG targets", *Cities*, vol. 95, pp. 102357, (2019). <https://doi.org/10.1016/j.cities.2019.05.026>
- [29] G. Bazzan, C. Daugbjerg and J. Tosun, "Attaining policy integration through the integration of new policy

- instruments: The case of the Farm to Fork Strategy”, *Applied Economic Perspectives and Policy*, vol. 45, no. 2, pp. 803-818, (2023). <https://doi.org/10.1002/aepp.13235>
- [30] J. Tosun, “The behaviour of suppliers and consumers in mandated markets: the introduction of the ethanol–petrol blend E10 in Germany”, *Journal of Environmental Policy & Planning*, vol. 20, no. 1, pp. 1-15, (2018). <https://doi.org/10.1080/1523908x.2017.1299624>.
- [31] H. Khanifar, S. M. Alvani and H. Haji Molla Mirzaee, “Designing Cultural Policy Implementation Model for Islamic Republic Of Iran and Comparing It with Other Models”, *Organizational Culture Management*, vol. 13, no. 3, pp. 713-737, 2015. (In Persian). <https://doi.org/10.22059/jomc.2015.54736>
- [32] M. Sharifi, M. Modiri, H. Amiri and F. Beig Zadeh, “Providing a policy making pattern in city municipality services by mixed approach,” *Ferdowsi Civil Engineering*, vol. 36, no. 3, pp. 83-98, (2023). (In Persian). <https://doi.org/10.22067/jfcei.2023.83093.1240>
- [33] M. Bagheri A. A. Pourezat, “Providing a hybrid model for policy making in the university arena,” *Majlis and Rahbord*, vol. 20, no. 74, pp. 165-199, 2012. (In Persian).
- [34] M. Karimi Tararani, F. Sharifzadeh, M. A. Seyyed Naqvi, D. Hosseinpour, “Policy pattern of Park Science and technology and company Knowledge base”, *Journal of Innovation and Value Creation*, vol. 7, no. 13, pp. 46-54, (2017). (In Persian).
- [35] M. Mohammadi, S. M. Alwani, G. Memarzadeh Tehran and Q. Ansari Renani, “Designing three-dimensional model of impelementing public policy”, *Public Policy In Administration*, vol. 8, no. 21, pp. 1-16, (2016). (In Persian).
- [36] S. M. Alwani, F. Sharifzadeh, *Public Policy Process*, Tehran: Allameh Tabatabai University Publication, 2014. (In Persian).
- [37] K. A. Iyanda, B. S. Dantata, “Problems and challenges of policy implementation for national development”, *Research on Humanities and Social Sciences*, vol. 6, no. 15, pp. 60-65, (2016).
- [38] A. Kelemenis, P. Galiatsatou, “A methodological approach to identify policy priorities of municipalities in Greece”, *Energy Procedia*, vol. 153, pp. 376–382, (2018). <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2018.10.051>
- [39] H. L. Chen, “Performance measurement and the prediction of capital project failure”, *International Journal of Project Management*, vol. 33, no. 6, pp. 1393-1404, (2015). <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2015.02.009>
- [40] P. Macedo, A. Huertas, C. Bottone, J. del Río, N. Hillary, T. Brazzini and G. Penha-Lopes, “Learnings from local collaborative transformations: Setting a basis for a sustainability framework”, *Sustainability*, vol. 12, no. 3, pp. 795-818, (2020). <https://doi.org/10.3390/su12030795>
- [41] J. E. Langkai, H. Akib and R. H. Sendouw, “The determinants of neighborhood based development policy implementation in Manado city”, *International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE)*, vol. 8, no. 2S9, pp. 207-210, (2019).
- [42] F. Gheytaasivand, “Challenges of public transportation policy in Tehran city in network governance based on thematic analysis approach”, *Journal of Improvement Management*, vol. 17, no. 3, pp. 72-100, (2023). (In Persian) <https://doi.org/10.22034/jmi.2023.404509.2981>

- [43] F. Gheyatasivand, F. Sharifzadeh, G. kazemian and D. Hosseinpour, "Analysis of Factors Affecting the Success Policies Formulation of Tehran Urban Management", *Public Organizations Management*, vol. 8, no. 4, pp. 43-56, (2020). (In Persian) <https://doi.org/10.30473/ipom.2020.52617.4077>.
- [44] P. Baghernezhad, H. taherpoor Kalantari and H. bahrami, "Identifying and evaluating the factors affecting the successful implementation of the public policy of supporting knowledge-based companies and institutions in the country", *Innovation Management in Defensive Organizations*, vol. 1, no. 2, pp. 1-26, (2019). (In Persian).
- [45] H. Rangriz, M. Kheirandish and S. Latifi Jaliseh, "Exploring of Public Policies Implementation Obstacles in Governmental Organizations Using the Meta Synthesis Method", *Iranian Journal of Public Policy*, vol. 4, no. 1, pp. 123-138, (2018). (In Persian) <https://doi.org/10.22059/ppolicy.2018.66852>
- [46] H. Hamjen, T. Oktavianor, T. Arbain, "Implementation of Smart Branding Policy in the River City of Banjarmasin", *Jurnal Bina Praja: Journal of Home Affairs Governance*, vol. 15, no. 1, pp. 163-179, (2023). <https://doi.org/10.21787/jbp.15.2023.163-179>
- [47] J. Cifuentes-Faura, B. Benito, M. D. Guillamón and Ú. Faura-Martínez, "Relationship between Transparency Efficiency in Municipal Governments: Several Nonparametric Approaches", *Public Performance & Management Review*, vol. 46, no. 1, pp. 193-224, (2023). <https://doi.org/10.1080/15309576.2022.2123007>
- [48] C. Ren, C. W. Yu and S. J. Cao, "Development of urban air environmental control policies and measures", *Indoor and Built Environment*, vol. 32, no. 2, pp. 299-304, (2023). <https://doi.org/10.1177/1420326X221120380>
- [49] I. S. Mir, P. P. S. Cheema and S. P. Singh, "Implementation analysis of solid waste management in Ludhiana city of Punjab", *Environmental Challenges*, vol. 2, pp. 100023, (2021). <https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100023>
- [50] A. Tuni, W. L. Ijomah, F. Gutteridge, M. Mirpourian, S. Pfeifer and G. Copani, "Risk assessment for circular business models: A fuzzy Delphi study application for composite materials", *Journal of Cleaner Production*, vol. 389, pp. 135722, (2023). <https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100023>
- [51] M. Sufiyan, A. Haleem, S. Khan and M. I. Khan, "Evaluating food supply chain performance using hybrid fuzzy MCDM technique", *Sustainable production and consumption*, vol. 20, pp. 40-57, (2019). <https://doi.org/10.1016/j.spc.2019.03.004>
- [52] A. Davari, A. Rezazadeh, *Modeling structural equations with Pls Smart software*. Tehran: Jihad Academic Press, (2012). (In Persian).
- [53] M. Modiri, M. Dashti Shiramin and H. Karimi Shirazi, "Identification and Prioritization of Influencing Factors on Safety Performance with hybrid Fuzzy DEMATEL and Analytical Network Process Approach (DANP) (Case Study: A Combined Cycle Power Plant)", *J Health Saf Work*, vol. 9, no. 1, pp. 49-60, (2019). (In Persian).
- [54] M. Ahmad Amouei, C. Valmohammadi and K. Fathi, "Developing and validating an instrument to measure the impact of digital supply chain activities on sustainable performance", *Journal of Enterprise Information Management*, vol. 36, no. 4, pp. 925-951, (2023). <https://doi.org/10.1108/JEIM-12-2021-0520>
- [55] J. Henseler, C. M. Ringle and R. R. Sinkovics, "The use of partial least squares path modeling in international marketing", *New challenges to international marketing*, vol. 20, pp. 277-319, (2009). [https://doi.org/10.1108/S1474-7979\(2009\)0000020014](https://doi.org/10.1108/S1474-7979(2009)0000020014).



Effect of the Method of Using Waste Carbonate Cake on the Compressive and Tensile Strengths of Green Concrete

Research Article

Zahra Heydari¹, Rasoul Shadnia² , Davood Mostofinejad³, Shadzi Rezaei⁴DOI: [10.22067/jfeci.2024.88715.1307](https://doi.org/10.22067/jfeci.2024.88715.1307)

1. Introduction

Despite the advancement of science and the industrialization of societies, the generation of massive wastes from industries is a serious concern because much of this waste contain chemicals harmful to the environment. Recycling and reuse of waste, in addition to economic savings, also has environmental benefits. The construction industry is known as a good place to accept recycled materials. The use of recycled materials in concrete helps to improve its properties and has become more important due to cost reduction and compatibility with the environment. However, there is very little research on the use of sugar waste, especially carbonate cake, in the construction industry. By filling the research gap between this calcareous gold and construction materials and blossoming the application potentials of sugar waste, especially carbonate cake, an environmentally friendly green concrete can be produced. One of the best places is to use these materials instead of cement because cement itself is a big pollutant for the environment, and as a result, the recycling value multiplies.

According to the literature, it is clear that waste carbonate cake can replace a percentage of cement used in concrete. However, in the studies, the method of using carbonate cake in the concrete mixing plan and in other words determining the best way to use it has not been mentioned. Therefore, in this article, three different methods of using carbonate cake in making concrete, including dissolving in water of mixing plan, sieving, and grinding were examined, and the best method of use has been introduced. In order to achieve this goal, first, a mixing plan was prepared with a water to cement ratio of 0.35 and concrete samples were made with the percentages of replacing carbonate cake instead of cement equal to 5, 10, 20, 30, and 40, and finally, the compressive strength of 28- and 56-day samples were evaluated for all three methods of dissolving in water, sieving, and grinding. To determine the tensile strength of the samples, the Brazilian test was performed on the samples made only by the optimal method (milled method) with different percentages of carbonated lime waste and the 28-day tensile strength of the samples was measured.

2. Experimental Program

The aggregates in different sizes were obtained from the mines of Isfahan city, Iran. Drinking water was also used and the maximum ratio of water to cement in mixing plans was considered to be 0.35. Moreover, type 2 Portland cement manufactured by Ardestan Cement Factory located in Isfahan, Iran, was used. The carbonate cake produced in Naqsh Jahan factory in Isfahan was utilized as a substitute for cement in concrete production. The mixing plan of samples is shown in Table 1.

Table 1: Details of the concrete mixing plan with different percentages of carbonate cake (kg per cubic meter of concrete)

Mix code	PC	CK	Water	Sand	Fine agg.	Coarse agg.
CK0	400	0	152.4	1075	400	250
CK5	380	20				
CK10	360	40				
CK20	320	80				
CK30	280	120				
CK40	240	160				

3. Results and Discussion

- Compressive strength

Carbonated lime powder from sugar factories was replaced with cement in three ways in green concrete, and the compressive strength results were investigated and evaluated (Figures 1 and 2). The results indicated that the method of dissolving carbonated lime in the mixing design water had the lowest compressive strength. In the mixing plan with the dissolving method, the water was absorbed by the carbonated lime powder and there was not enough moisture to mix and lubricate other components, such as cement and aggregates. Another reason for this significant decrease in compressive strength can be considered the chemical reactions created between water and carbonate cake. Due to the high calcareous property of the carbonate cake, by dissolving in the water of the mixing plan, the

*Manuscript received June 28, 2024, Revised July 24, 2024, Accepted September 3, 2024.

¹ Faculty of Engineering, Hakim Sabzevari University, Sabzevar, Iran.

² Corresponding author. Associate Professor, Faculty of Engineering, Hakim Sabzevari University, Iran.

Email: r.shadnia@hsu.as.ir

³ Professor, Faculty of Civil Engineering, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

⁴ Faculty of Engineering, Hakim Sabzevari University, Sabzevar, Iran.

calcareous material blooms and this further reduces the strength of the concrete.

The results obtained from concrete produced with carbonate cake by sieving method also showed a decrease in the compressive strength of concrete samples containing waste powder compared to the control samples without powder. In this method, the strength reduction rate was better than the dissolved method as the materials that remain on the sieve are mainly limestone lumps that are separated from the waste powder by the sieve. This causes the difference between the mixture and the original sample and the reduction of its lime percentage will result in a decrease in concrete strength.

The results in all three methods indicated a decrease in the compressive strength of the samples with the addition of carbonate cake to the concrete mixture. However, the use of carbonate cake by grinding method was the best technique of using carbonate cake in concrete because the calcareous property of the material was preserved and it showed the best chemical reaction in the formation of concrete when combined with water and other materials.

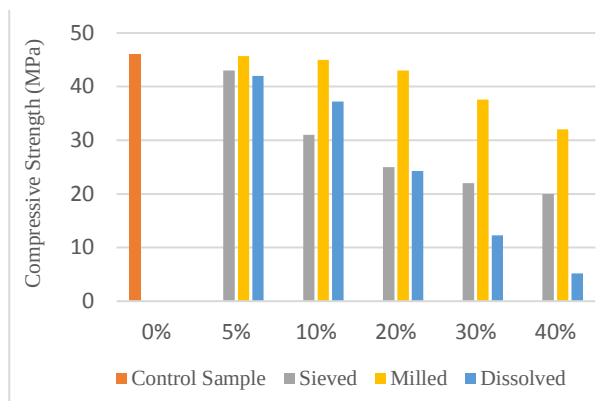


Figure 1. 28-day compressive strength of concrete samples with different percentages of carbonate cake

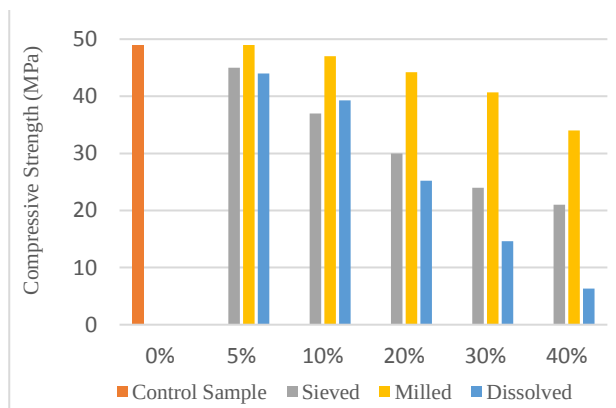


Figure 2. 56-day compressive strength of concrete samples with different percentages of carbonate cake

- Tensile Strength

In the previous step, the grinding method was recognized as the best method for adding carbonate cake powder to concrete. Therefore, to determine the tensile strength of concrete, carbonate cake powder was added to concrete only by the grinding method. The results of the samples subjected to the Brazilian tensile test (Figure 3) showed that the replacement of carbonated lime residue with a certain amount of cement does not significantly reduce the tensile strength of ordinary concrete.

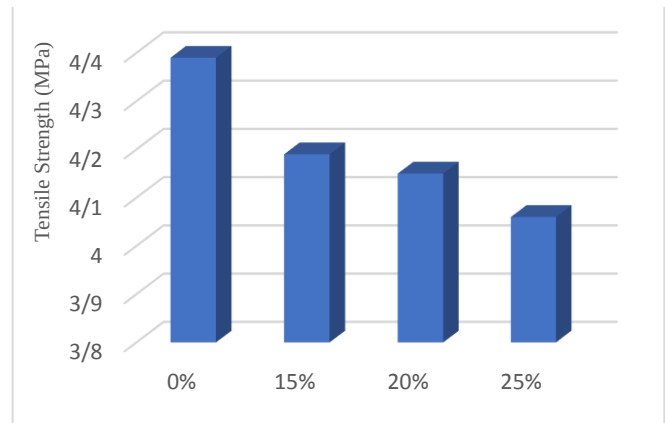


Figure 3. Tensile strength diagram according to different percentages of calcium carbonate cake

4. Conclusion

In this research, to determine the best method of adding carbonate cake to concrete, carbonate cake was used with three different methods, including dissolving in water of mixing plan, sieving, and grinding. After conducting laboratory tests to determine compressive and tensile strengths with different percentages of carbonate cake, the following results were obtained:

- The worst results were related to concrete samples made with carbonate cake dissolved in water. The results of the compressive strength of the samples made by this method indicated a significant decrease in the compressive strength of the samples with the increase of carbonate cake in the concrete mixture.
- The best method to use carbonate cake in concrete was to use milled carbonate cake, and it can be replaced by at least 20% of the weight of cement, without significantly reducing the strength of concrete.
- The tensile strength of the concrete samples declined with the rise in carbonate cake powder compared to the control sample, but this decrease was not significant until the substitution of 20% of the weight of carbonate cake in the concrete strengthening part.
- It seems that carbonate cake is also used in other building materials due to its calcareous properties and can be traced from this point of view.
- It is worth mentioning that the carbonate cake recycling causes reduction in industrial waste, waste transportation cost, waste disposal cost, and removing inappropriate smell and organic materials. Therefore, the use of this green concrete in the construction industry is recommended.



تأثیر روش استفاده از کیک کربناته ضایعاتی بر روی مقاومت فشاری و کششی بتن سبز*

مقاله پژوهشی

شادزی رضایی^(۲)

داود مستوفی نژاد^(۳)

رسول شادنیا^(۴)

زهره حیدری^(۱)

DOI: 10.22067/jfeci.2024.88715.1307

چکیده حجم زیادی از ضایعات کارخانه‌های قند به صورت پسماند انباشت می‌شود. این پسماند، کیک کربناته (گل کربنات کلسیم، آهک کربناته و لجن آهک) نام دارد و تولید آن معطل جلدی این کارخانجات و محیط زیست است. هدف تحقیق حاضر، بازیافت این پسماند حجیم به عنوان جایگزین بخشی از سیمان مورد استفاده در بتن می‌باشد. به دلیل اندازه ناهمگن ذرات و برای شباهت بیشتر اندازه دانه‌های آن با ذرات سیمان، کیک کربناته با سه روش حل شده در آب طرح اختلاط، الک شده و آسیاب شده در طرح‌های مختلف مورد استفاده قرار گرفت. نمونه‌های بتنی آزمایشگاهی با نسبت آب به سیمان ۰.۳۵ و با درصد‌های مختلف جایگزینی کیک کربناته به جای سیمان برابر با ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ ساخته شده و در نهایت مقاومت فشاری نمونه‌های ۲۸ و ۵۶ روزه و مقاومت کششی نمونه‌های ۲۸ روزه سنجیده شد. نتایج نشان داد که بهترین روش استفاده از کیک کربناته در بتن، استفاده از کیک کربناته آسیاب شده می‌باشد و جایگزینی آن تا حداقل ۲۰ درصد وزنی سیمان با این روش، بدون کاهش چشمگیر مقاومت‌های فشاری و کششی در بتن امکان‌پذیر می‌باشد. به صورت کمی نتایج حاکی از آن است که مقاومت فشاری نمونه‌های ۲۸ و ۵۶ روزه و مقاومت کششی نمونه‌های ۲۸ روزه با ۲۰ درصد پودر ضایعاتی جایگزین سیمان نسبت به نمونه‌های شاهد بدون پودر در این روش، به ترتیب حدود ۶.۵، ۱۰ و ۵.۴ درصد کاهش داشته‌اند. شایان ذکر است که بازیافت کیک کربناته سبب کاهش در پسماندهای صنعتی، هزینه حمل و نقل ضایعات، هزینه دفن پسماندها و حذف بوی نامناسب و مواد آلی نیز می‌گردد. لذا استفاده از این بتن سبز در صنعت ساختمان توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی ضایعات کارخانه قند، بازیافت، کیک کربناته، مقاومت، بتن سبز.

The Effect of the Method of Using Waste Carbonate Cake on the Compressive and Tensile Strengths of Green Concrete

Zahra Heydari

Rasoul Shadnia

Davood Mostofinejad

Shadzi Rezaei

Abstract A large amount of waste from sugar factories is accumulated as waste. The purpose of this research is to recycle the waste of these factories, called carbonate cake (calcium carbonate mud, lime carbonate and lime sludge), which production is a serious problem for these factories and the environment, as a substitute for part of the cement used in concrete. Due to the heterogeneous size of the particles and for the greater similarity of the size of its grains with cement particles, carbonated cake with three methods: dissolved in water of mixing plan, sieved and milled, was used in different designs. Laboratory concrete samples were made with a water-cement ratio of 0.35 and with different percentages of replacing carbonate cake instead of cement equal to 5, 10, 20, 30 and 40, and finally, the compressive strength of the 28- and 56-day samples and the tensile strength of the 28-day samples was measured. The results showed that the best method of using carbonated cake in concrete is to use milled carbonated cake and it is possible to replace it up to at least 20% by weight of cement, without significantly reducing the compressive and tensile strengths in concrete. Quantitatively, the results indicate that the compressive strength of the 28-day and 56-day samples and the tensile strength of the 28-day samples with 20% waste powder instead of cement have decreased by 6.5, 10, and 5.4%, respectively, compared to the control samples without powder. It is worth mentioning that the carbonate cake recycling causes reduction in industrial waste, waste transportation cost, waste disposal cost and removing inappropriate smell and organic materials. Therefore the use of this green concrete in the construction industry is recommended.

Key words Sugar factory waste, Recycling, Carbonate cake, Strength, Green concrete.

* تاریخ دریافت مقاله ۱۴۰۳/۴/۸ و تاریخ پذیرش آن ۱۴۰۳/۶/۱۳ می‌باشد.

(۱) دانش آموخته کارشناسی ارشد عمران، دانشگاه حکیم سبزواری.

(۲) نویسنده مسئول: دانشیار گروه مهندسی عمران، دانشگاه حکیم سبزواری.

(۳) استاد دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان.

(۴) دانش آموخته کارشناسی ارشد عمران، دانشگاه حکیم سبزواری.

مقدمه

با وجود پیشرفت علم و صنعتی شدن جوامع، تولید زباله‌های انبوه از صنایع یک نگرانی جدی است، زیرا بسیاری از این زباله‌ها شامل مواد شیمیایی مضر برای محیط زیست هستند. بازیافت و استفاده مجدد از ضایعات، علاوه بر صرفه‌جویی اقتصادی، فواید زیست‌محیطی نیز دارد. صنعت ساختمان به عنوان جایی مناسب برای پذیرش مواد بازیافتی شناخته شده است. استفاده از پوزولان‌ها (مواد بازیافتی) در بتن، به بهبود خواص آن کمک می‌کند و به دلیل کاهش هزینه‌ها و سازگاری با محیط زیست، اهمیت بیشتری یافته است. با این حال، تحقیق درباره استفاده از ضایعات قندی در صنعت ساخت و ساز کم است. این تحقیق در تلاش است تا با بررسی پتانسیل‌های کاربردی این ضایعات، بتنی سازگار با محیط زیست تولید کند و مشکلات ناشی از سیمان را که خود آلاینده‌ای بزرگ است، کاهش دهد. استفاده از پوزولان‌های آلی در بتن به عنوان یکی از روش‌های مؤثر در بهبود خواص آن در سال‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته است. یکی از شیوه‌های افزودن این پوزولان‌ها به بتن، سوختن آن‌ها در کوره و سپس آسیاب کردن می‌باشد. پوزولان‌های طبیعی و مصنوعی به طور گسترده در مصالح ساختمانی مورد استفاده قرار می‌گیرند و نقش مهمی در به حداقل رساندن هزینه‌ها ایفا می‌کنند و در سال‌های اخیر به ویژه در دهه‌های اخیر به دلیل تمرکز بر سازگاری با محیط زیست و نیاز به مواد ساختمانی با خواص بهبود یافته، اهمیت بیشتری پیدا کرده‌اند [1,2]. تأثیر ضایعات پوزولانی بر خواص مکانیکی، دوام و ریزساختار ملات سیمانی تحت تأثیر استفاده از مواد زاید بازیافتی در ملات‌های سیمانی نیز مورد ارزیابی قرار گرفته است [3,4]. اما متأسفانه در زمینه بازیافت پسماندهای کارخانجات قندی و امکان استفاده گسترده از این مواد ضایعاتی در صنعت ساخت و ساز پژوهش چشم‌گیری تا کنون دیده نشده است.

تحقیق حاضر با پر کردن شکاف تحقیقاتی بین این طلای آهکی و مصالح ساختمانی و شکوفا شدن پتانسیل‌های کاربردی ضایعات قندی به ویژه کیک کربناته (شکل ۱)، سعی در تولید بتن سبز سازگار با محیط زیست را دارد. یکی از بهترین جایگاه‌ها، استفاده از این مواد به جای سیمان است؛ زیرا خود سیمان یک آلاینده بزرگ برای محیط‌زیست می‌باشد و در نتیجه

ارزش بازیافت چند برابر می‌شود.



شکل ۱. کیک کربناته ضایعات کارخانجات قند

در طول فرایند تولید و بهره‌برداری کارخانجات قند مقدار زیادی ضایعات از جمله تفاله، ملاس و کیک کربناته تولید می‌شود که از این پسماند می‌توان به عنوان مواد اولیه برای تولید محصولات دیگر با ارزش بالا استفاده کرد. به تازگی پژوهش‌هایی به چگونگی استفاده از ملاس در تهیه سیمان، ملات و بتن پرداخته است [5-7] و پژوهش‌های دیگری نیز بر روی استفاده مجدد از تفاله در صنایع دیگر [8-12] و مخصوصاً صنایع غذایی [13-15] متمرکز شده است.

پسماند آهک کربناته یکی از محصولات زاید کارخانجات قند است که به طور معمول در حجم وسیع انباشت می‌شود و به ندرت مورد استفاده قرار می‌گیرد (شکل ۲). بررسی‌ها نشان می‌دهد که در ایام اوج کاری، روزانه حداقل ۸۰ تن کیک کربناته تولید می‌شود که انباشت آن باعث آلودگی محیط زیست و مشکلات جدی برای دفع در کارخانجات قند شده است. این وضعیت حتی منجر به تعطیلی برخی کارخانه‌ها و ثبت نام آن‌ها در لیست سیاه سازمان محیط زیست ایران شده است. برای فرار از این مشکل، برخی کارخانه‌ها اقدام به دفن یا انتقال این مواد به مناطق دیگر کرده‌اند که این کار آسیب‌های جدی به محیط زیست و جانوران وارد می‌کند. همچنین، پسماندهای خشک شده به صورت پودری ریز در محیط پراکنده می‌شوند و وجود مزارع چغندر قند در کنار این کارخانه‌ها، باعث مسدود شدن منافذ خاک و اختلال در رشد گیاهان می‌شود. با انجام این پژوهش پیش‌بینی می‌شود با ورود کیک کربناته به صنعت ساخت و ساز بتوان حجم عظیمی از این ضایعات را مصرف و بازیافت کرد و مشکل انباشت این پسماند را که برای محیط اطرافشان مشکل‌ساز شده تا اندازه‌ای مرتفع کرد و موجبات سودآوری را برای هر دو صنعت فراهم نمود. از طرف دیگر

مخصوص، جذب آب و تخلخل بتن را بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد بهترین مقاومت فشاری بتن مربوط به نسبت جایگزینی ۵ درصد می‌باشد و جایگزینی مقادیر بیشتر پسماند آهک کربناته باعث کاهش مقاومت فشاری بتن می‌شود. فویال و همکاران با جایگزین کردن ۰ تا ۱۰۰ درصد سیمان با پسماند آهک کربناته و بررسی مقاومت‌های فشاری، کششی و خمشی بیان کردند که افزایش درصد جایگزینی باعث کاهش مقاومت بتن می‌گردد.

هر چند از بررسی پژوهش‌های پیشین و تلاش محققان این نکته بر می‌آید که استفاده از یک کربناته ضایعاتی می‌تواند جایگزین درصدی از سیمان مورد استفاده در بتن باشد، ولی در این پژوهش‌ها به نحوه استفاده از یک کربناته در طرح اختلاط بتن و به بیان دیگر تعیین بهترین روش استفاده از آن اشاره‌ای نشده است. لذا در این مقاله، تلاش شده است ضمن بررسی سه روش متفاوت استفاده از یک کربناته در ساخت بتن شامل حل کردن در آب طرح اختلاط، الک کردن و آسیاب کردن بهترین روش استفاده معرفی گردد. طبق بررسی‌های میدانی، در شهر اصفهان هم اکنون سه کارخانه قند فعال و بزرگ می‌باشد. برای شناخت ماهیت ذرات تشکیل دهنده پسماندها در ابتدای کار، آزمایش‌هایی مانند XRF و ICP انجام شد. در آزمایشگاه طرح اختلاط با نسبت آب به سیمان ۰,۳۵، تهیه شده و نمونه بتنی با درصد‌های جایگزینی یک کربناته به جای سیمان برابر با ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ ساخته شد و در نهایت مقاومت فشاری نمونه‌های ۲۸ و ۵۶ روزه برای هر سه روش حل کردن در آب طرح اختلاط، الک کردن و آسیاب کردن مورد ارزیابی قرار گرفت. به منظور تعیین مقاومت کششی نمونه‌ها، آزمایش تست برزیلی بر روی نمونه‌های ساخته شده تنها با روش آسیاب شده با درصد‌های مختلف جایگزینی پسماند آهک کربناته انجام و مقاومت کششی ۲۸ روزه نمونه‌ها اندازه‌گیری شد.

مواد و روش‌ها

مصارح مصرفی

در بازیافت و بهره‌وری مجدد ضایعات، شاخصه‌های مختلفی می‌تواند مورد هدف‌گذاری و مطالعه قرار گیرد. لذا پیش از هر چیز ابتدا به معرفی مصالح مورد استفاده در پژوهش و ویژگی‌های آن‌ها پرداخته می‌شود. دانه‌بندی شن و ماسه مصرفی در طرح‌ها مطابق با استاندارد ملی به شماره ۳۰۲ [32] ارزیابی شد (شکل ۳) و سنگ دانه‌ها در سائزهای نخودی (معدن

استفاده از هر ماده دورریز در بتن مستلزم شناخت کافی و تخصصی در مورد آن است. اطمینان از دوام و ایمنی ضایعات مصرفی در بتن، نیاز به مطالعه همه‌جانبه دارد و استفاده از پژوهش‌های گذشته به این امر سرعت می‌بخشد.



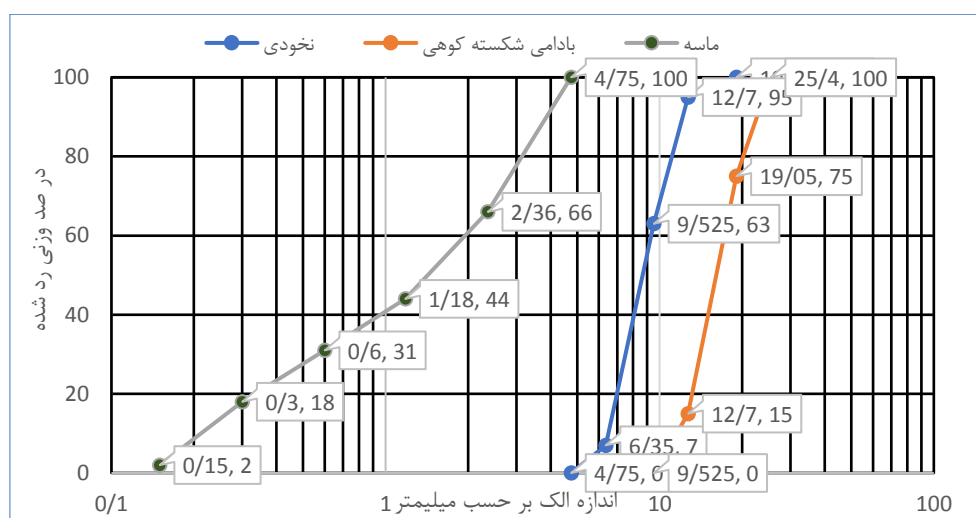
شکل ۲ انباشت یک کربناته، ضایعات کارخانه قند در حیاط و محوطه بیرونی کارخانجات

اگرچه کربنات کلسیم رسوب کرده در کارخانجات قند، به خاطر جذب ناخالصی‌های ناشی از آلودگی‌های غیر قندی در طول فرایند تصفیه شکر، با کربنات کلسیم اصلی متفاوت است، اما از آنجایی که این ضایعات منشأ آهکی دارند، بررسی نتایج پژوهش‌هایی که در آن‌ها کربنات کلسیم جایگزین سیمان در تولید بتن شده، می‌تواند سودمند باشد [16-21]. اخیراً پژوهش‌هایی بر روی تأثیر استفاده از پسماند آهک کربناته به عنوان تثبیت کننده خاک [22]، کامپوزیت‌های اپوکسی [23]، بر روی پارامترهای مختلف ژئوپلیمرها [24,25]، بتن‌های پلیمری [26]، سیمان [27]، به عنوان سنگدانه در ساخت بتن [28,29] و به عنوان جایگزین سیمان در ساخت بتن [30,31] انجام شده است. غریب و راشد [30] و نیز فویال و همکاران [31] جز معدود کسانی هستند که تا کنون استفاده مجدد از پسماند آهک کربناته را در تولید بتن بررسی کرده‌اند. غریب و راشد با انجام آزمایش‌های آزمایشگاهی، تأثیر جایگزینی این پسماند به جای ۵ تا ۲۵ درصد وزنی سیمان بر روی مقاومت فشاری، وزن

استفاده شده و نتایج آزمایش‌های ICP و XRF برای شناخت ماهیت آن کیک کربناته به ترتیب در جداول (۳) و (۴) آورده شده است.

نتایج آنالیز ICP انجام شده بر روی کیک کربناته مندرج در جدول (۳) نشان می‌دهد بیش از ۱۰ درصد ذرات کیک کربناته از کلسیم و بعد از آن بیشترین فراوانی مربوط به عناصری چون منیزیم، آهن، آلومینیوم، سدیم، فسفر، گوگرد، مقدار اندکی روی و... می‌باشد.

مجتمع نور)، بادامی شکسته کوهی (معدن پایا سنگ) و ماسه (معدن مجتمع نور)، از شهر اصفهان تهیه شد. همچنین از آب شرب مصرفی با مشخصات جدول (۱) در آزمایشگاه استفاده گردید و حداکثر نسبت آب به سیمان در طرح‌ها به میزان ۰,۳۵ در نظر گرفته شد. در این تحقیق از سیمان پرتلند نوع ۲ تولیدی کارخانه سیمان اردستان واقع در شهر اصفهان با مشخصات جدول (۲) استفاده شده است. این نوع سیمان برای مصارف عمومی استفاده می‌شود و در زمان گیرش حرارت هیدراتاسیون متوسطی تولید می‌کند. از کیک کربناته تولید شده در کارخانه نقش جهان اصفهان به عنوان جایگزین سیمان در تولید بتن



شکل ۳ دانه‌بندی مصالح، نخودی، بادامی شکسته کوهی و ماسه

جدول ۱ استاندارد آب آشامیدنی

ویژگی	واحد اندازه‌گیری	حداکثر مطلوب	حداکثر مجاز
بو	TON	حداکثر ۱۲ واحد در ۱۲ درجه سلسیوس و حداکثر ۳ واحد در ۲۵ درجه سلسیوس	-
رنگ	TCU	-	۱۵
PH	-	۶,۵-۸,۵	۶,۵-۹
سختی	ppm	۲۰۰	۵۰۰
TDS	ppm	۱۰۰۰	۱۵۰۰
کدورت	NTU	≤ ۱	۵

جدول ۲ مشخصات شیمیایی سیمان پرتلند نوع ۲

IR	K ₂ O	C ₃ A	SO ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	Na ₂ O	Cl	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	I.O.I
۰,۴۶	۰,۴۹	۶,۵	۱,۵	۳,۸۲	۱,۹	۰,۲۵	۰,۰۱۹	۱۹	۵	۶۰,۴	۰,۷

جدول ۳ نتایج آزمایش ICP کیک کربناته ضایعات قند

Sample (کیک کربناته)	Element	Ag	Al	As	Be	Ca	Co	Cr
	DL	0.1	100	0.1	0.2	100	1	1
	Unit: ppm	<0.1	470	2.1	<0.2	>10%	<1	16
Sample (کیک کربناته)	Element	Cu	Fe	Mg	Mn	Mo	Na	P
	DL	1	100	100	5	0.1	100	10
	Unit: ppm	11	1039	3684	44	<0.1	295	191
Sample (کیک کربناته)	Element	S	Sr	Ti	V	Zn	Zr	
	DL	50	1	10	1	1	5	
	Unit: ppm	3938	288	56	9	25	<5	

جدول ۴ نتایج آنالیز XRF کیک کربناته ضایعات کارخانه قند

Sample (کیک کربناته)	Element	SiO _۲	Al _۲ O _۳	BaO	CaO	Cr _۲ O _۳	Fe _۲ O _۳	K _۲ O
	DL	۰,۰۵	۰,۰۵	۰,۰۵	۰,۰۵	۰,۵	۰,۰۵	۰,۰۵
	unit%	۰,۲۰	۰,۰۵	۰,۰۵>	۵۵,۰۰	<۰,۵	۰,۰۵>	۰,۰۵>

Sample (کیک کربناته)	Element	MgO	Mno	Na _۲ O	P _۲ O _۵	SO _۳	TiO _۲	LOI
	DL	۰,۰۵	۰,۰۵	۰,۰۵	۰,۰۵	۰,۰۵	۰,۰۵	۰,۰۵
	unit%	۰,۷۲	۰,۰۵>	۰,۰۵>	۰,۰۵>	۰,۸۱	۰,۰۵>	۴۳,۲۲

جدول ۵ مشخصات مصالح استفاده شده در بتن در این پژوهش

نوع	چگالی	درصد رطوبت	درصد جذب آب
سیمان	۳,۱۵		-
ماسه	۲,۶	۳	۳,۱
نخودی	۲,۶	۰	۲
بادامی	۲,۶	۰	۱,۶

طبق نتایج آنالیز XRF مندرج در جدول (۴)، بیشترین فراوانی ذرات تشکیل دهنده کیک کربناته مربوط به آهک (CaO) و LOI (مواد فرار) که معمولاً شامل آب ترکیبی، هیدرات‌ها و ترکیبات حساس به هیدروکسی و دی‌اکسیدکربن که از کربنات‌ها خارج می‌شوند، می‌باشد.

طرح اختلاط

طرح اختلاط بتن، روند تعیین نسبت اجزای بتن است، به نحوی که بتن تا حد امکان مقرون به صرفه شود و الزامات مورد نیاز شامل خواص فیزیکی، مکانیکی و دوام را برآورده نماید. در این پژوهش از روش ملی طرح مخلوط بتن (ویرایش سوم) [33] برای طرح اختلاط بتن استفاده شد. مشخصات مصالح در جدول (۵) و طرح اختلاط نمونه‌ها در جدول (۶) آمده است. در جدول (۶)، PC، CK، Fine agg. و Coarse agg. به ترتیب بیانگر سیمان پرتلند، کیک کربناته، شن نخوری و شن بادامی می‌باشند.

جدول ۶ جزئیات طرح اختلاط بتن با درصدهای متفاوت کیک کربناته (کیلوگرم در یک مترمکعب بتن)

Mix code	PC	CK	Water	Sand	Fine agg.	Coarse agg.
CK0	400	0	152.4	1075	400	250
CK5	380	20				
CK10	360	40				
CK20	320	80				
CK30	280	120				
CK40	240	160				

کیک کربناته در طرح اختلاط بتن

پس از بررسی پژوهش‌های گذشته در زمینه بازیافت کیک کربناته، مشاهده شد در تحقیقات گذشته از کیک کربناته با ظاهر و شکل دست نخورده آن استفاده شده است. این در حالی است که دانه‌بندی این ماده با سیمان متفاوت است و بافت متفاوتی از سیمان دارد. بررسی‌های میدانی از پودر کربنات کلسیم ضایعاتی سه کارخانه قند بزرگ موجود در شهر اصفهان (کارخانه قند نقش جهان، کارخانه قند اصفهان و کارخانه قند نور سپاهان) نشان داد اندازه اولیه پودر ضایعاتی بعضاً به صورت کلوخه‌های با سایزهای بادامی به بالا (شکل ۴) می‌باشد که گاهی بر اثر فشار در هنگام انباشت، متراکم و فشرده و گاه با فشار دست به راحتی خرد می‌شوند.



شکل ۴ دانه‌بندی و ابعاد ذرات کیک کربناته انباشت شده

با توجه به شکل ظاهری کیک کربناته ضایعاتی که مخلوطی از پودر و کلوخه‌های ریز و درشت می‌باشد برای

استفاده در طرح به عنوان جایگزین سیمان باید اندازه ذرات یک‌دست و ریزتر و دانه‌بندی آن‌ها یک‌نواخت‌تر شود. بدین منظور سه روش متفاوت استفاده از کیک کربناته در ساخت بتن شامل حل کردن در آب طرح اختلاط، الک کردن و آسیاب کردن مورد استفاده قرار گرفت و نمونه‌های بتنی با درصد‌های جایگزینی مختلف پسماند آهک کربناته به جای سیمان (۰، ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ درصد) تهیه و پارامترهای مختلف دوام و مقاومت، مورد ارزیابی قرار گرفت.

روش حل کردن. در طرح اختلاط با روش حل کردن آهک کربناته تصمیم بر آن شد که پودر آهک کربناته در آب اندازه‌گیری شده طرح اختلاط حل شود. حل کردن این پودر در آب به دو روش دستی و مکانیکی انجام شد (شکل ۵). در روش دستی، آب اندازه‌گیری شده در طرح را در ظرف ریخته سپس کیک کربناته ضایعاتی کاملاً دست نخورده بدون هیچ تغییر شکلی به آن اضافه شده و با یک میله به صورت دستی حداقل به مدت نیم ساعت هم زده شد. مشاهدات عینی حاکی از آن بود که تمام مواد به صورت یک‌دست حل نمی‌شوند و مقداری از آن به صورت کلوخه‌هایی با سایز بادامی همراه با مقداری ناخالصی از بقایای چغندر قند ته ظرف باقی می‌ماند. تمام محلول به مخلوط بتن در میکسر اضافه شد. در روش مکانیکی، از یک هم‌زن برقی برای هم زدن پودر ضایعاتی کربنات کلسیم و آب طرح اختلاط استفاده شد و در هر مرحله حداقل نیم ساعت برای حل کردن پودر از هم‌زن برقی استفاده شد. در این روش محلول یک‌دست و همگن‌تر از طرح قبلی شد و کف ظرف مقدار خیلی کمتر از روش قبلی، کلوخه‌هایی با سایز نخودی وجود داشت.

روش الک کردن. در این روش برای الک کردن پودر ضایعاتی کیک کربناته از الک شماره ۳۰ استفاده شد و به علت عبور خیلی اندک پودر از آن، امکان عبور از الک ریزتر وجود نداشت. الک کردن کیک کربناته بسیار وقت‌گیر می‌باشد و به سختی انجام می‌شود. ضمن اینکه موادی که روی الک باقی می‌ماند عمدتاً کلوخه‌های آهکی بوده که با سرند کردن از پودر ضایعاتی جدا می‌شوند و عملاً مخلوط الک شده با نمونه اولیه تفاوت داشته و درصد آهک آن کاهش می‌یابد.

آزمایش‌های انجام شده آزمایش مقاومت فشاری

آزمایش‌های مقاومت فشاری در این پژوهش با استفاده از استاندارد ACI318-14 [34] انجام پذیرفت. برای ساخت نمونه‌ها از قالب‌های استوانه‌ای با قطر ۱۰۰ میلی‌متر و ارتفاع ۲۰۰ میلی‌متر استفاده شد. همچنین نمونه شاهد بدون اضافه کردن پودر کربنات کلسیم ضایعاتی آماده شد و نمونه‌های بعدی با اضافه کردن پودر با درصدهای ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ به جای سیمان ساخته شد. نمونه‌ها در حوضچه آب عمل‌آوری قرار داده شدند و در زمان‌های مشخص مقاومت فشاری آن‌ها از تقسیم نیروی شکست قرائت شده از دستگاه جک فشاری کالیبره شده (شکل ۷). مقاومت فشاری بتن سخت شده ۲۸ و ۵۶ روزه، اندازه‌گیری شد و ثبت گردید.



شکل ۷ آزمون مقاومت فشاری نمونه‌ها توسط جک

آزمایش مقاومت کششی

به منظور تعیین مقاومت کششی نمونه‌ها، آزمایش تست برزیلی با استاندارد ASTM C496-96 [35] انجام شد. طبقه انجام آن به این صورت است که نمونه به صورت افقی بین دو صفحه دستگاه قرار گرفته و نیروی شکست به صورت عمودی به قطر نمونه‌ها وارد می‌شود و نمونه‌ها به دو نیم تقسیم می‌شوند. (شکل ۸). نمونه‌های استوانه‌ای به ابعاد ۲۰۰ * ۱۰۰ میلی‌متر با درصدهای مختلف جایگزینی پسماند آهک کربناته ساخته شد و پس از انجام این تست، نتایج آن مورد ارزیابی قرار گرفت. برای محاسبه مقدار مقاومت کششی σ_t باید از رابطه زیر استفاده شود:

$$\sigma_t = \frac{2 \times P}{\pi \times d \times t} \quad (1)$$



شکل ۵ حل کردن کیک کربناته در آب طرح اختلاط به دو روش دستی و همزن برقی و افزودن به مخلوط

روش آسیاب کردن. در این روش، کیک کربناته ضایعاتی حاصله از کارخانه قند با استفاده از دستگاه آسیاب صنعتی (شکل ۶) خرد و اندازه ذرات آن یک‌دست‌تر و ریزتر گردید. آسیاب کردن پسماند آهک کربناته با دمای محیط و با یک مرتبه عبور از دستگاه انجام شده و تنظیمات سرعت و قدرت دستگاه تا رسیدن به سایز ذرات در حدود ۱۰۰ میکرون انجام شد.

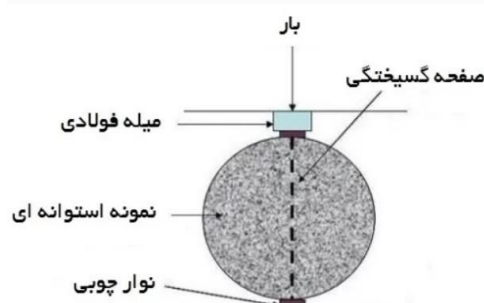


شکل ۶ دستگاه آسیاب صنعتی

P: بار در لحظه شکست (نیوتن)

d: قطر نمونه (میلی متر)

t: ضخامت نمونه آزمایش در مرکز آن (میلی متر)



شکل ۸. آزمایش مقاومت کششی (تست برزیلی)

نتایج و بحث

نتایج مقاومت فشاری

پودر آهک کربناته ضایعاتی کارخانجات قند، به سه روش در بتن سبز جایگزین سیمان گشت و نتایج مقاومت فشاری مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت (نمودار شکل های ۹ و ۱۰). نتایج حاکی از آن است که روش حل کردن آهک کربناته در آب طرح اختلاط، کمترین میزان مقاومت فشاری را به همراه دارد. به عنوان مثال نتایج نشان می دهند که مقاومت فشاری نمونه های

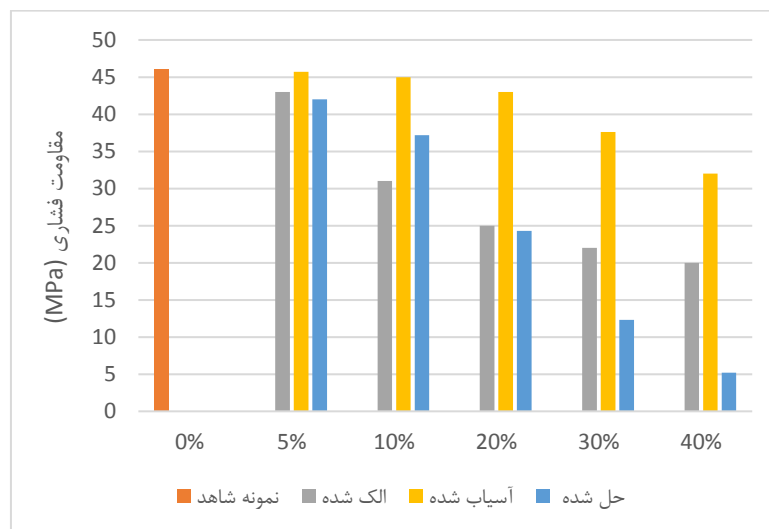
۲۸ و ۵۶ روزه با ۲۰ درصد پودر ضایعاتی جایگزین سیمان نسبت به نمونه های شاهد بدون پودر، به ترتیب حدود ۴۷ و ۴۹ درصد کاهش یافته است. در این روش نرخ کاهش مقاومت نمونه های حاوی بیش از ۲۰ درصد کیک کربناته، به سرعت افزایش یافت، به طوری که مقاومت فشاری نمونه های ۵۶ روزه با ۳۰ و ۴۰ درصد پودر ضایعاتی، نسبت به نمونه های شاهد، به ترتیب حدود ۷۰ و ۹۰ درصد کاهش داشت. در طرح اختلاط با روش حل کردن، آب توسط پودر آهک کربناته جذب شده و برای مخلوط کردن و روان کردن اجزای دیگر مثل سیمان و سنگ دانه، رطوبت کافی در اختیار نبود. دلیل دیگر این کاهش قابل ملاحظه مقاومت فشاری را می توان واکنش های شیمیایی ایجاد شده بین آب و کیک کربناته دانست. با توجه به خاصیت آهکی بالای کیک کربناته، با حل شدن در آب طرح اختلاط، مواد آهکی شکفته شده و این امر باعث کاهش بیشتر مقاومت بتن می گردد.

نتایج به دست آمده از بتن تولید شده با کیک کربناته به روش الک کردن نشان دهنده کاهش مقاومت فشاری نمونه های ۲۸ و ۵۶ روزه با ۲۰ درصد پودر ضایعاتی جایگزین سیمان نسبت به نمونه های شاهد بدون پودر به ترتیب حدود ۴۵ و ۳۸ درصد می باشند. در این روش نرخ کاهش نمونه های بیش از ۲۰ درصد کیک کربناته، نسبت به روش حل کردن وضعیت بهتری دارند؛ به طوری که مقاومت فشاری نمونه های با ۳۰ و ۴۰ درصد پودر ضایعاتی ۵۶ روزه، نسبت به نمونه های شاهد، در این روش به ترتیب حدود ۵۰ و ۶۰ درصد کاهش داشت. در روش الک کردن، از نظر شکل ظاهری و آب انداختگی بتن در هنگام ساخت، تفاوت چشم گیری بین مخلوط ها به وجود آمد. در این روش موادی که روی الک باقی می ماند، عمدتاً کلوخ های آهکی بوده که به واسطه الک، از پودر ضایعاتی جدا می گردند. این امر سبب تفاوت مخلوط با نمونه اولیه و کاهش درصد آهک آن و در نتیجه کاهش مقاومت بتن می گردد.

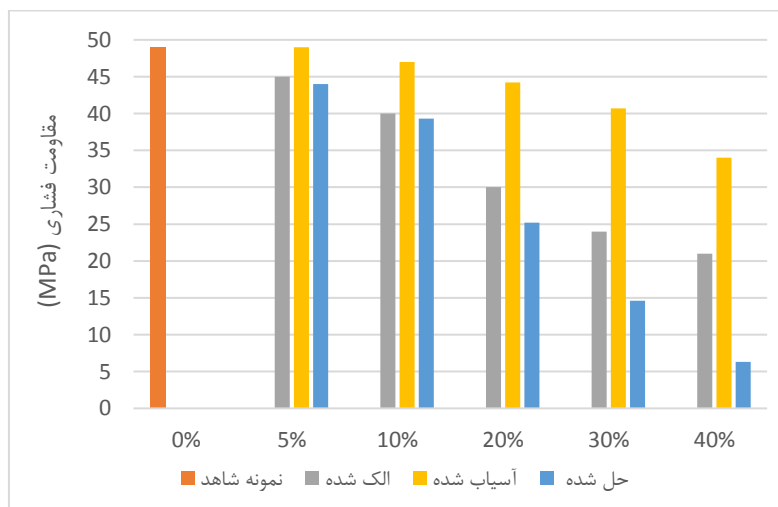
گرچه نتایج حاصله از مقاومت فشاری نمونه ها، در هر سه روش حاکی از کاهش مقاومت فشاری نمونه ها با افزایش کیک کربناته به مخلوط بتن بود، نتایج نشان داد استفاده از کیک کربناته به روش آسیاب کردن، بهترین روش استفاده از کیک کربناته در بتن می باشد، چرا که خاصیت آهکی مواد حفظ شده و بهترین واکنش شیمیایی را در تشکیل بتن هنگام ترکیب با آب

تفاوت چشم‌گیری را نشان می‌دهد. در کار مشابهی که پیش از این توسط غریب و راشد [25] انجام شد، مقاومت فشاری نمونه‌های با ۱۰ درصد پودر ضایعاتی ۲۸ روزه، نسبت به نمونه‌های شاهد، حدود ۶ درصد کاهش داشت که این میزان در نمونه با ۱۰ درصد پودر ضایعاتی ۲۸ روزه به روش آسیاب کردن در این تحقیق، حدود ۲ درصد می‌باشد و از تقارب قابل قبولی برخوردار است. همچنین در این روش مقاومت فشاری نمونه‌های با ۵ و ۱۰ درصد پودر ضایعاتی ۵۶ روزه، نسبت به نمونه‌های شاهد، به ترتیب صفر و حدود ۴ درصد کاهش داشت که این نتایج می‌تواند ارزشمند و حائز اهمیت باشد.

و سایر مصالح از خود نشان داده است. نتایج آزمایش‌های فشاری ارائه شده در شکل‌های (۹) و (۱۰) نشان می‌دهند که در روش آسیاب کردن، مقاومت فشاری نمونه‌های ۲۸ و ۵۶ روزه با ۲۰ درصد پودر ضایعاتی جایگزین سیمان نسبت به نمونه‌های شاهد بدون پودر، به ترتیب حدود ۶٫۵ و ۱۰ درصد کاهش داشته است، که این امر نشان می‌دهد که در روش آسیاب کردن جایگزینی کیک کربناته تا حداقل ۲۰ درصد وزنی سیمان، بدون کاهش چشم‌گیر مقاومت بتن می‌باشد و این نتیجه قابل قبولی می‌باشد. مقاومت فشاری نمونه‌های با ۳۰ و ۴۰ درصد پودر ضایعاتی در این روش، نسبت به نمونه‌های شاهد، به ترتیب حدود ۱۷ و ۳۰ درصد کاهش داشت که نسبت به دو روش قبل



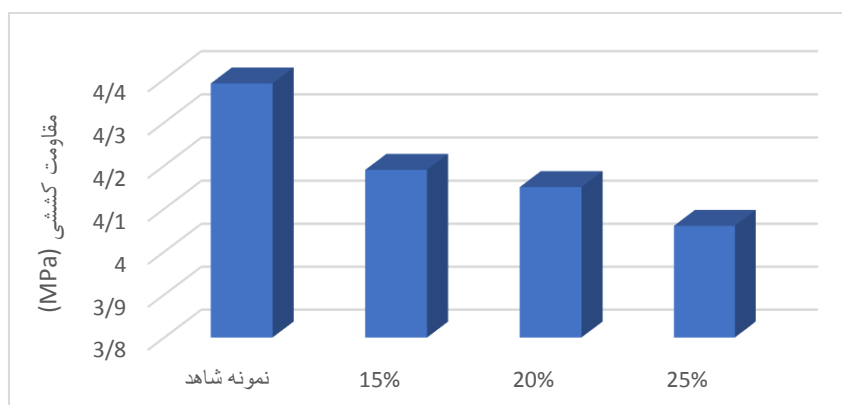
شکل ۹ مقاومت فشاری ۲۸ روزه نمونه‌های بتنی با درصدهای متفاوت کیک کربناته



شکل ۱۰ مقاومت فشاری ۵۶ روزه نمونه‌های بتنی با درصدهای متفاوت کیک کربناته

جدول ۷ نتایج مقاومت کششی

نام نمونه	بار کششی P (گسیختگی) (N)	مقاومت کششی برزیلی (MPa)	درصد کاهش
نمونه شاهد	۱۳۸۰۰۰	۴,۳۹	-
نمونه حاوی ۱۵ درصد کیک کربناته	۱۳۱۵۰۰	۴,۱۹	۴,۵
نمونه حاوی ۲۰ درصد کیک کربناته	۱۳۰۳۵۰	۴,۱۵	۵,۴
نمونه حاوی ۲۵ درصد کیک کربناته	۱۲۷۵۰۰	۴,۰۶	۷,۵



شکل ۱۱ نمودار مقاومت کششی بر حسب درصد های مختلف کیک کربنات کلسیم

نتایج مقاوت کششی

با توجه به اینکه در مرحله قبل، روش آسیاب شده بهترین روش برای اضافه کردن پودر کیک کربناته به بتن تشخیص داده شد، برای تعیین مقاومت کششی بتن، پودر کیک کربناته تنها با روش آسیاب شده به بتن اضافه شد. نتایج نمونه‌هایی که تحت آزمایش کشش برزیلی قرار گرفتند، در جدول (۷) و نمودار شکل (۱۱) آورده شده است و نشان می‌دهد که جایگزینی پسماند آهک کربناته با مقداری از سیمان کاهش چشم‌گیری در مقاومت کششی بتن معمولی ندارد. می‌توان نتیجه گرفت که مقاومت کششی نمونه‌های بتنی با افزایش پودر پسماند آهک کربناته نسبت به نمونه شاهد کاهش یافت اما این کاهش تا جایگزینی ۲۰ درصد وزنی از کیک کربناته نسبت به بخش استحکام دهنده بتن چشم‌گیر نیست.

خلاصه

در این تحقیق برای تعیین بهترین روش اضافه کردن کیک کربناته به بتن، کیک کربناته با سه روش متفاوت شامل حل کردن در آب طرح اختلاط، الک کردن و آسیاب کردن مورد استفاده قرار گرفت. پس از انجام آزمایش‌های آزمایشگاهی

تعیین مقاومت‌های فشاری و کششی با درصدهای مختلف کیک کربناته نتایج ذیل حاصل شد:

۱) بدترین نتایج مربوط به نمونه‌های بتنی ساخته شده با کیک کربناته حل شده در آب می‌باشد. نتایج حاصله از مقاومت فشاری نمونه‌های ساخته شده با این روش حاکی از کاهش چشم‌گیر مقاومت فشاری نمونه‌ها با افزایش کیک کربناته به مخلوط بتن است. به عنوان مثال نتایج نشان می‌دهند که مقاومت فشاری نمونه‌های ۲۸ و ۵۶ روزه با ۲۰ درصد پودر ضایعاتی اضافه شده با این روش نسبت به نمونه‌های شاهد بدون پودر، به ترتیب حدود ۴۷ و ۴۹ درصد کاهش یافته است.

۲) بهترین روش استفاده از کیک کربناته در بتن، استفاده از کیک کربناته آسیاب شده است و جایگزینی آن تا حداقل ۲۰ درصد وزنی سیمان، بدون کاهش چشم‌گیر مقاومت بتن امکان‌پذیر می‌باشد. به عنوان مثال در روش آسیاب شده، مقاومت فشاری نمونه‌های ۲۸ و ۵۶ روزه با ۲۰ درصد پودر ضایعاتی جایگزین سیمان نسبت به نمونه‌های شاهد بدون پودر، به ترتیب حدود ۶,۵ و ۱۰ درصد کاهش داشته است.

۳. مقاومت کششی نمونه‌های بتنی با افزایش پودر کیک کربناته

Sugar factory waste	ضایعات کارخانه قند	نسبت به نمونه شاهد کاهش یافت اما این کاهش تا
Green Concrete	بتن سبز	جایگزینی ۲۰ درصد وزنی کیک کربناته نسبت به بخش
CK	کیک کربناته	استحکام دهنده بتن چشم‌گیر نیست. به عنوان مثال مقاومت
PC	سیمان پرتلند	کششی نمونه‌های ۲۸ روزه با ۲۰ درصد پودر ضایعاتی
Coarse agg	درشت‌دانه (شن)	جایگزین سیمان نسبت به نمونه‌های شاهد بدون پودر حدود ۵,۴ درصد کاهش داشته است.

سپاسگزاری

نهایت تشکر و قدردانی به شرکت بنیاد بتن اصفهان به ویژه مدیریت محترم شرکت، آقای دکتر حاج رسولیها و آقای مهندس صادقی، همچنین کارشناسان و پرسنل آزمایشگاه بنیاد بتن به ویژه آقایان مهندس سخنور، کوچک نژاد و محمدی و شرکت قند نقش جهان به ویژه آقای دکتر دربخش و آقای دکتر خیام و دیگر بزرگواران دست اندر کار تقدیم می‌گردد.

۴. به نظر می‌رسد استفاده از کیک کربناته به دلیل خاصیت آهکی خود در مصالح دیگر ساختمانی نیز کاربرد داشته باشد و از این منظر قابل پیگیری است.

واژه نامه

Fine agg.	ریزدانه (ماسه)
Environmental Impact	تأثیرات زیست‌محیطی
Recycling	بازیافت

مراجع

- [1] J. A. Becerra-Duitama, D. Rojas-Avellaneda, "Pozzolans: A review", *Engineering and Applied Science Research*, vol. 49, no. 4, pp. 495-504, (2022).
- [2] C. B. Sisman, E. Gezer, "Performance characteristics of concrete containing natural and artificial pozzolans", *J Food Agr Env* 9, no. 2, pp. 132-136, (2011).
- [3] G. Pachideh, M. Gholhaki and H. Ketabdari, "Effect of pozzolanic wastes on mechanical properties, durability and microstructure of the cementitious mortars", *Journal of Building Engineering*, vol. 29, pp.101178, (2020). <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2020.101178>
- [4] M. Gholhaki, M. Sharbatdar and G. Pachideh, "An experimental investigation into the mechanical performance and microstructure of cementitious mortars containing recycled waste materials subjected to various environments", *Journal of Building Engineering*, vol. 61, pp. 105275, (2022). <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2022.105275>
- [5] G. Huang, D. Pudasainee, R. Gupta and W. V. Liu, "Utilization and performance evaluation of molasses as a retarder and plasticizer for calcium sulfoaluminate cement-based mortar", *Construction and Building Materials*, vol. 243, pp. 118201, (2020). <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118201>
- [6] X. Gao, Y. Yang and H. Deng, "Utilization of beet molasses as a grinding aid in blended cements", *Construction and Building Materials*, vol. 25, no. 9, pp. 3782-3789, (2011). <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.04.041>
- [7] B. Ali, L. A. Qureshi, "Durability of recycled aggregate concrete modified with sugarcane molasses", *Construction and Building Materials*, vol. 229, pp. 116913, (2019). <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.116913>
- [8] P. Puligundla, C. Mok, "Valorization of sugar beet pulp through biotechnological approaches: recent developments", *Biotechnology Letters*, vol. 43, no. 7, pp. 1253-1263, (2021). <https://doi.org/10.1007/s10529-021-03146-6>
- [9] B. Joanna, B. Michal, D Piotr, W. Agnieszka, K. Dorota and W. Izabela, "Sugar beet pulp as a source of valuable

- biotechnological products", In *Advances in biotechnology for food industry*, pp. 359-392. Academic Press, (2018).
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811443-8.00013-X>
- [10] P. Borysiuk, I. Jencyk-Tolloczko, R. Auriga and M. Kordzikowski, "Sugar beet pulp as raw material for particleboard production", *Industrial Crops and Products*, vol. 141, pp. 111829, (2019).
<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.111829>
- [11] C. Caliceti, M. Malaguti, L. Marracino, M. C. Barbalace, P. Rizzo and S. Hrelia, "Agri-food waste from apple, pear, and sugar beet as a source of protective bioactive molecules for endothelial dysfunction and its major complications", *Antioxidants*, vol. 11, no. 9, pp. 1786, (2022).<https://doi.org/10.3390/antiox11091786>
- [12] M. Aljabri, S. Alharbi, R. |N. Al-Qthanin, F. M. Ismaeil, J. Chen and S. F. Abou-Elwafa, "Recycling of beet sugar byproducts and wastes enhances sugar beet productivity and salt redistribution in saline soils", *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 28, pp. 45745-45755, (2021). <https://doi.org/10.1007/s11356-021-13860-3>
- [13] M. Benbati, M. El Hansali, E. El Azhari, M. Mounsif, A. Haddioui, B. Benjelloun and A. Keli, "Effects of the incorporation of ensiled sugar beet pulp in the diet on lambs fattening performance." *Options Méditerranéennes*, vol. 125, pp. 413-415, (2021).
- [14] H. Diao, A. Jiao, B. Yu, J. He, P. Zheng, J. Yu, D. Chen, "Beet pulp: an alternative to improve the gut health of growing pigs", *Animals*, vol. 10, no. 10, pp. 1860, (2020). <https://doi.org/10.3390/ani10101860>
- [15] L. F. Wang, E. Beltranena and R. T. Zijlstra, "Diet nutrient digestibility and growth performance of weaned pigs fed sugar beet pulp", *Animal Feed Science and Technology*, vol. 211, pp. 145-152, (2016).
<https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2015.11.005>
- [16] M. M. Salman, A. A. Muttar, "The mechanical properties of Lime Concrete." *Journal of Engineering and Sustainable Development*, vol. 21, no. 2, pp. 180-191, (2017).
- [17] M. Cao, X. Ming, K. He, L. Li and S. Shen, "Effect of macro-, micro-and nano-calcium carbonate on properties of cementitious composites—A review." *Materials*, vol. 12, no. 5, pp. 781, (2019).
<https://doi.org/10.3390/ma12050781>
- [18] I. Maruyama, W. Kotaka, B. N. Kien, R. Kurihara, M. Kanematsu, H. Hyodo, T. Noguchi, "A new concept of calcium carbonate concrete using demolished concrete and CO₂", *Journal of Advanced Concrete Technology*, vol. 19, no. 10, pp. 1052-1060, (2021). <https://doi.org/10.3151/jact.19.1052>
- [19] P. A. Adesina, F. A. Olutoge, "Structural properties of sustainable concrete developed using rice husk ash and hydrated lime", *Journal of Building Engineering*, vol. 25, pp. 100804, (2019).
<https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2019.100804>
- [20] M. Soleimani Dashtaki, A. Heydari, M. Fadaei Dah Cheshmeh, "The effect of limestone on compressive and bending strength of cement. " *Fifth National Conference on Applied Research in Civil Engineering, Architecture and Urban Management*, K. N. Toosi University of Technology, Iran, December 2-3, (2018), (In Persian).
- [21] D. Mostofinejad, H. H. Nazari Monfared, "Adding slag and limestone powder to concrete to increase its durability in sulfate environment", *Transportation research paper, scientific-research quarterly*, third year, no.2, (2006). (In Persian)

- [22] K. Phuyal, U. Sharma, J. Mahar, K. Mondal and M. Mashal, "Reducing Carbon Footprint with Precipitated Calcium Carbonate (PCC) in Geotechnical Applications", *Preprints*, pp. 2023091674,(2023). <https://doi.org/10.20944/preprints202309.1674.v1>
- [23] M. Soydal Ulku, M. Esen, "Evaluation of sugar mill lime waste in biobased epoxy composites." *Polymer Composites*, 39, no. 3, pp. 924-935, (2018). <https://doi.org/10.1002/pc.24019>
- [24] A. M. Rashad, M. Gharieb, H. Shoukry, M. M. Mokhtar, "Valorization of sugar beet waste as a foaming agent for metakaolin geopolymer activated with phosphoric acid", *Construction and Building Materials*, vol. 344, pp. 128240, (2022). <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.128240>
- [25] A. M. Rashad, S. R. Zeedan, M. Gharieb, "Appreciation of sugar beet waste in metakaolin geopolymer mortar for compressive strength and drying shrinkage", *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, vol. 37, pp. 101429, (2024). <https://doi.org/10.1016/j.scp.2024.101429>
- [26] Z. Sapronova, S. Sverguzova, E. Fomina, E. Fokina, "Carbonate-containing precipitate of sugar production from sugar beet as filler for polymer concrete." In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 365, no. 3, pp. 032042, (2018).
- [27] H. Li, W. Xu, X. Yang and J. Wu, "Preparation of Portland cement with sugar filter mud as lime-based raw material." *Journal of Cleaner Production*, 66, pp.107-112, (2014). <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.11.003>
- [28] H. Karimi Dehkordi, A. Heydari, "Investigating the use of lime waste instead of sand in concrete. " *1st Urban Services and Environment Conference*, Ferdowsi University, Mashhad, Iran, October 8, (2013), (In Persian).
- [29] H. Karimi Dehkordi, A. Heydari, "Application of lime waste from sugar factories as stone material in concrete production." *1st International Conference on Environmental Crises and Its Solutions*, Islamic Azad University Science and Research, Khuzestan Branch, Ahvaz, February 13-14, (2012). (In Persian)
- [30] M. Gharieb, A. M. Rashad, "An initial study of using sugar-beet waste as a cementitious material." *Construction and Building Materials*, vol. 250, pp. 118843, (2020). <https://doi.org/10.3390/su152014694>
- [31] K. Phuyal, U. Sharma, J. Mahar, K. Mondal and M. Mashal, "A sustainable and environmentally friendly concrete for structural applications", *Sustainability*, 15, no. 20, pp. 14694, (2023). <https://doi.org/10.3390/su152014694>
- [32] National Standard No. 302 - Characteristics of concrete aggregates, *Iran National Standards Organization*, Third Revision, (2015). (In Persian)
- [33] Ministry of Roads and Urban Development, Road, Housing and Urban Development Research Center, The National Method for Concrete Mix Design, *Road, Housing and Urban Development Research Center* ,Third Edition, (2006). (In Persian)
- [34] ACI 318-14 Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary.
- [35] ASTM C496-96 Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens.



**Ferdowsi
University of
Mashhad**

Ferdowsi Civil Engineering

<https://civil-ferdowsi.um.ac.ir>



**Iranian
Concrete
Institute**



**Pavement
Engineering
Association of Iran**

A Model to Evaluate the Physical Characteristics and Uses of Transport Networks in Dense Urban Structures with Emphasis on the Development of Sustainable Transport

Research Article

Rezvan Babagoli¹ , Morteza Mohammadzadeh², Mohsen Amouzadeh Omrani³

DOI: [10.22067/jfpei.2024.85745.1275](https://doi.org/10.22067/jfpei.2024.85745.1275)

1. Introduction

Transportation includes three main elements: human or passenger as a travel agent, infrastructure as a platform for traveling (e.g., roads, railways, waterways, air, and terminals), and vehicles as means of travel (e.g., car, bus, and motorcycle). Transportation planning strategies both directly (by changing the amount of land used for transportation facilities) and indirectly (by changing the accessibility of uses) affect land use, which is influenced by the sustainable development approach (reducing the use of private cars, decreasing environmental pollution, and changing and diminishing fuel consumption) through the parameters of reducing travel length and time, decreasing travel demand, developing the rail network, and proximity of the origin and destination of trips in land use planning. The outcomes have been the reduction of land use and the preservation and development of green space and natural environment, increasing density and creating mixed uses. Moreover, investigating the effective factors in transportation and urban uses with a sustainable development approach can be useful. Some of these factors include paying attention to public transportation and pedestrian development, increasing density to raise the demand for public transportation, and creating mixed uses to reduce the time and place of trips. In addition, the priority of designing the above measures around the stations of public transportation systems, especially in the dense parts of the city in the form of an urban development model with a focus on transportation (TOD1) can lead to the development of sustainable transportation, which will be investigated in this research. One of the basic problems of our country is the lack of a holistic view of the transportation network in order to improve traffic problems and improve the level of user satisfaction. Due to the development of the urban fabric of northern cities in recent years, many of these cities (e.g., Najir and Amol) are composed of two dense tissues in the central area of the city and a newly developed tissue in the outer area of the

city. The innovation of this research is measuring the areas of the fabric of northern cities Najir and Amol. We expect that the transportation network can develop the sustainability of transportation and the movement of people. This development can be in the field of diverse facilities for walking, cycling, and public transportation, as well as access to uses and the existence of mixed users, which are the principles of sustainable transportation development and increased accessibility. As a result, the movement of people within these cities will be reduced.

2. Methods

In the first stage, the theoretical foundations, including the physical indicators of the users, as well as the indicators related to the road network, were examined according to the research basics. It is worth mentioning that the indicators are in two categories: 1- the network of roads and transportation indicators and 2- the structure and body of users. The indicators in the first category entail the width of the road, the width of the sidewalk, permeability and number of intersections, and parking conditions. The second category encompasses the type of use, mixed-use, building density, and number of floors with height density, which are in two systems. These are independent variables to measure the development of sustainable transportation, which is called smart development and growth, and as it was mentioned, it creates a basis for people to meet their daily needs, increases access, and reduces displacement by personal and motor vehicles. Next, the literature related to the research topic was addressed in more detail. In the second stage, according to the study area, potentials, and capacities regarding the relationship between the mentioned two categories of indicators with the sustainable development of transportation, the desired indicators and the likely influencer were selected. In the third stage, considering the determined indicators and initial perceptions of the environment and examining issues, such as road width, building density, height, and

*Manuscript received June 28, 2024, Revised July 24, 2024, Accepted September 3, 2024.

¹ Corresponding Author: Assistant Professor, Department of Civil Engineering, University of Science and Technology of Mazandaran, Behshahr, Iran. **Email:** Rezvan_Babagoli@yahoo.com

² MSc graduate Transportation student, Department of Civil Engineering, University of Shomal, Amol, Iran

³ Assistant professor, Department of Civil Engineering, Savadkooh Branch, Islamic Azad university, Savadkooh, Iran.

land use, a questionnaire was designed to collect information from people. The questionnaire was standardized in terms of frankness and number and way of writing questions from the respondents' point of view, and according to the statistical indicators (statistical population, the degree of dispersion of the primary results obtained, and the expected confidence percentage). It was distributed among the people of the study area. In the fourth stage, by using mathematical and statistical modeling, the relationship of independent variables with the dependent variable sustainable transportation development (high accessibility and reduction of movement in dense urban areas) was examined. It should be noted that the evaluation criterion in modeling was the t-test. The correlation coefficient was used to present the model in the fifth step after measuring the amount of the dependent variable (sustainable transportation) in the neighborhoods. Dense urban textures, deficiencies, and potentials were examined and after the conclusion, a series of suggestions were made.

3. Conclusion

According to the obtained results, the process of development of sustainable transportation from the center of Amol city to the outside - the quality of which weakens as it reaches the peripheral wall - is because Amol is a mononuclear city. Therefore, the density and diverse uses are mostly concentrated in one core, leading to the development of sustainable transportation in terms of land use. However, regarding communication features and the transportation system, these have caused congestion in these areas. It is suggested that this type of city be transformed from a single core to multiple cores to provide different and mixed services and uses in the surrounding areas, reducing congestion and developing features related to the network and transportation system. The outcome will be increased safety of pedestrians, reduced interference between riders and pedestrians, the possibility of using bicycles, and easier access.



ارائه مدلی جهت ارزیابی ویژگی‌های کالبد کاربری‌ها و شبکه حمل و نقل در ساختار شهری متراکم با تأکید بر توسعه حمل و نقل پایدار (مطالعه موردی شهر آمل)*

مقاله پژوهشی

محسن عموزاده عمرانی^(۳)

مرتضی محمدزاده^(۲)

رضوان باباگلی^(۱)

DOI: 10.22067/jfcej.2024.85745.1275

چکیده هدف اصلی این تحقیق، سنجش مناطقی از بافت‌های شهری است که با توجه به کاربری‌ها و ویژگی‌های شبکه حمل و نقل می‌تواند در پایداری حمل و نقل و جابجایی افراد توسعه ایجاد کند. برای دستیابی به این هدف در این تحقیق ابتدا به شناخت ویژگی‌های مربوط به حمل و نقل پایدار در دو نظام کاربری‌های شهری و شبکه حمل و نقل در شهر آمل با استفاده از پرسشنامه، بررسی‌های میدانی و اطلاعات اخذ شده در طرح‌های قبلی پرداخته شد، سپس با استفاده از مدل سازی آماری رگرسیون بر اساس مشاهدات پرسشنامه، متغیر وابسته یعنی اندازه گیری کیفیت ویژگی‌های حمل و نقل پایدار در محلات مختلف (در ۱۲ محله تعیین شده) وابسته به متغیرهای مستقل مرتبط با سیستم حمل و نقل و کاربری زمین اندازه گیری شد. نتایج مدل نشان داد که از میان ۱۰ متغیر مستقل، متغیرهای مرتبط با شبکه و سیستم حمل و نقل نظیر: وضعیت شبکه پیاده از نظر کیفیت جداره و طراحی جذاب برای عابرین، وضعیت دوجرخه سواری و کیفیت استفاده از آن دارای سطح معناداری مناسب ($sig < 0.05$) می باشند و همچنین متغیرهای مستقل مربوط به کاربری‌ها نظیر: شدت و تراکم ساختمانی و وجود کاربری‌های مختلط و به صورت مجتمع، در مدل تاثیرگذار هستند. با توجه به ضرایب منفی و مثبت آزمون t و B ، می توان نتیجه گرفت که افراد در حوزه شبکه و سیستم حمل و نقل به دلیل وضعیت نامناسب مسیرهای پیاده، ایمنی نامناسب تردد عابر و عدم وضعیت مناسب دوجرخه سواری رضایت کافی ندارند، اما در حوزه کاربری (تراکم و وجود کاربری‌های مختلط)، با توجه به بافت محلات، دارای رضایت نسبی می باشند. لذا به منظور توسعه هر چه بیشتر حمل و نقل پایدار باید توجه بیشتری بر روی توسعه در خصوص دو متغیر مربوط به شبکه و کیفیت سیستم حمل و نقل داشت.

واژه های کلیدی قابلیت پیاده روی، توسعه مبتنی بر حمل و نقل عمومی، بافت متراکم، تسهیلات شبکه حمل و نقل، حمل و نقل پایدار، کاربری زمین.

A Model to Evaluate the Physical Characteristics and Uses Transport Network in Dense Urban Structures with Emphasis on the Development of Sustainable Transport

Rezvan Babagoli

Morteza Mohammadzadeh

Mohsen Amouzadeh Omrani

Abstract The main goal of this research is to measure the areas of urban contexts that, according to the uses and characteristics of the transportation network, can develop the sustainability of transportation and the movement of people. In order to achieve this goal, in this research, first of all, the features related to sustainable transportation in two systems of urban uses and transportation network in Amol city were studied using questionnaires, field surveys and information obtained in previous projects. then using statistical regression modeling based on the observations of the dependent variable questionnaire, i.e. measuring the quality of sustainable transportation features in different neighborhoods (in 12 designated neighborhoods) dependent on independent variables related to the transportation system and land use was taken The results of the model showed that among the 10 independent variables related to the network and the transportation system, such as: the condition of the pedestrian network in terms of the quality of the wall and attractive design for pedestrians, the condition of cycling and the quality of its use have a suitable significance level ($sig < 0.05$) and also independent variables related to uses such as intensity and density of buildings and the presence of mixed and integrated uses are effective in the model. According to the negative and positive coefficients of the t and B test, it can be concluded that people are not satisfied enough in the field of network and transportation system due to the poor condition of footpaths, poor safety of pedestrian traffic and the lack of suitable conditions for cycling, but in the field of The use (density and presence of mixed uses) have relative satisfaction according to the context of the localities, therefore, in order to develop sustainable transportation as much as possible, more attention should be paid to the development of two variables related to the network and the quality of the transportation system.

Key Words Walkability, Transit oriented Development, Sustainable Transport, Dense Context, Land Use.

* تاریخ دریافت مقاله ۱۴۰۳/۴/۸ و تاریخ پذیرش آن ۱۴۰۳/۶/۱۳ می باشد.

Email: Rezvan_Babagoli@yahoo.com

(۱) نویسنده مسئول: استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشگاه علم و فناوری مازندران، بهشهر، ایران.

(۲) دانش آموخته کارشناسی ارشد راه و ترابری، گروه مهندسی عمران، دانشگاه شمال، آمل، ایران.

(۳) استادیار، گروه مهندسی عمران، واحد سوادکوه، دانشگاه آزاد اسلامی، سوادکوه، ایران.

مقدمه

حمل و نقل یا ترابری، شامل سه عنصر اصلی انسان یا مسافر به عنوان عامل سفر، زیرساخت‌ها به عنوان بستر انجام سفر (جاده، راه آهن، راه آبی، هوایی و پایانه‌ها و...) و وسیله نقلیه به عنوان ابزار انجام سفر (خودرو، اتوبوس، موتورسیکلت و...) می‌باشد [1]. راهبردهای برنامه‌ریزی حمل و نقل هم مستقیم (از طریق تغییر میزان زمین مورد استفاده برای تسهیلات حمل و نقل) و هم غیر مستقیم (با تغییر قابلیت دسترسی کاربری‌ها) روی کاربری زمین تأثیرگذار می‌باشد [2] که این اثرگذاری با رویکرد توسعه پایدار (کاهش استفاده از خودروی شخصی، کاهش آلاینده‌گی محیط زیست و تغییر و کاهش در مصرف سوخت)، از طریق پارامترهای کاهش طول و زمان سفر، کاهش تقاضای سفر، توسعه شبکه ریلی، نزدیکی مبدأ و مقصد سفرها در برنامه‌ریزی کاربری اراضی به کاهش استفاده از سطح اراضی و حفظ و توسعه فضای سبز و محیط زیست طبیعی، افزایش تراکم و ایجاد کاربری‌های مختلط منتهی گردیده است [3,4]. همچنین بررسی عوامل مؤثر در حمل و نقل و کاربری‌های شهری با رویکرد توسعه پایدار نظیر توجه به حمل و نقل عمومی، توسعه پیاده‌روی و در حوزه حمل و نقل شهری و همچنین افزایش تراکم با هدف افزایش تقاضای حمل و نقل عمومی و ایجاد کاربری‌های ترکیبی به منظور کاهش فاصله زمانی و مکانی سفرها و اولویت طراحی تدابیر فوق در کاربری‌های اطراف ایستگاه سامانه‌های حمل و نقل عمومی به ویژه در بافت‌های متراکم شهر در قالب الگوی توسعه شهری با محوریت حمل و نقل محور (TOD) می‌تواند به توسعه حمل و نقل پایدار منجر شود که در این تحقیق به بررسی آن‌ها پرداخته خواهد شد [5]. یکی از مشکلات اساسی کشور ما عدم وجود دیدگاه کل‌نگر نسبت به شبکه حمل و نقل جهت بهبود مشکلات ترافیکی و افزایش سطح رضایت کاربران است. با توجه به توسعه بافت شهری شهرهای شمالی در سال‌های اخیر، بسیاری از این شهرها نظیر، آمل، از دو بافت متراکم محدوده مرکزی شهر و بافت توسعه یافته جدید در محدوده خارجی مرکز شهر تشکیل شده‌اند. نوآوری این پژوهش، سنجش مناطقی از بافت شهرهای شمالی نظیر آمل است، که با توجه به کاربری‌ها و ویژگی‌های شبکه حمل و نقل بتواند در پایداری حمل و نقل و جابه‌جایی افراد توسعه ایجاد کند. این توسعه می‌تواند در زمینه امکانات و تسهیلات پیاده‌روی، دوچرخه‌سواری و حمل و نقل عمومی،

دسترسی به کاربری‌ها، وجود کاربری‌های مختلط و... باشد، که در واقع اصول توسعه حمل و نقل پایدار است و باعث افزایش دسترسی و کاهش جابه‌جایی برای افراد جامعه در درون این شهرها می‌شود.

بیان مسئله

پرداختن به موضوع رفتارها و فعالیت‌ها به سبب تأثیری که بر سلامت عمومی جامعه دارند، عمدتاً مورد توجه مردم، برنامه‌ریزان حمل و نقل، طراحان و برنامه‌ریزان شهری می‌باشد. به گونه‌ای که به تازگی پژوهش‌هایی به منظور بررسی فعالیت‌های شهروندان در قالب مباحث مرتبط با پیاده‌مداری و تأثیر آن بر سلامت افراد جامعه صورت گرفته است. اما در حوزه طراحی و برنامه‌ریزی شهری پژوهش‌های اندکی تأثیر کاربری‌ها بر رفتار عابران را مورد بررسی قرار داده‌اند. در واقع این پژوهش‌ها عمدتاً به تأثیر کاربری‌های گوناگون و اختلاط آن‌ها بر حرکت پیاده اشاره داشته و معتقدند برخی از کاربری‌ها دارای تأثیر مثبت بر حرکت پیاده بوده و می‌توانند مردم را به پیاده‌روی بیشتر و حضور در فضای شهری تشویق نمایند. همچنین برخی از کاربری‌ها اثر منفی بر حرکت عابران دارند [6,7].

امروزه و در اکثر کلان‌شهرها، اثرات مخرب ناشی از افزایش استفاده از اتومبیل شخصی و گسترش پراکنده و کم‌تراکم حومه‌ها، و ازدحام در مناطق مرکزی شهرها نمایان شده است. به منظور کاهش این اثرات مخرب از دهه ۱۹۷۰ در ایالات متحده آمریکا، ایده توسعه حمل و نقل پایدار مورد توجه سیاست‌گذاران و پژوهشگران عرصه برنامه‌ریزی حمل و نقل و شهری قرار گرفته است [8]. به نظر می‌رسد در کشور ما ایران نیز، زمان استفاده از این الگوی توسعه پایدار حمل و نقل و بهره‌گیری از فوائد ناشی از آن در کلان‌شهرها و شهرهای میانی فرا رسیده باشد. در ایران، گسترش سریع و گاهی بی‌برنامه شهرها و حومه‌های اطراف کلان‌شهرها، رواج استفاده شهروندان از خودروهای شخصی را به دنبال داشته است. همچنین افزایش سرسام‌آور خودروهای شخصی در کلان‌شهرهای کشور، موجبات شکل‌گیری آلودگی-های گوناگون و تهدیدهای جدی زیرساخت‌های زیست‌محیطی شهرها را فراهم ساخته است. از این رو سازمان‌ها و نهادهای رسمی چون شهرداری، وزارت راه و شهرسازی و سازمان حفاظت از محیط زیست به تشویق شهروندان به استفاده از

توسعه با گرایش حمل و نقل عمومی شکلی از توسعه اراضی است که از حمل و نقل عمومی تأثیر پذیرفته و نوعی ارتباط بین کاربری زمین و حمل و نقل ایجاد می‌کند. این راهکار از اساس بر آن است تا با استقرار کاربری‌های جاذب و پرتدد در محوطه پیرامون کریدورهای حمل و نقل عمومی و یا با عبور این کریدورها از مناطق دارای تراکم جمعیت بیشتر و کاربری‌های عمده مولد و جاذب سفر برای ایجاد حمل و نقل و کاربری زمین متناسب و با یکدیگر گام بردارد. راهکارهای TOD همه گزینه‌های حمل و نقل از جمله مترو، اتوبوس، تاکسی و... را در بر می‌گیرد [11].

شاخص‌های حمل و نقل پایدار

پایداری عموماً به منظور دنبال کردن روندها، مقایسه مناطق و فعالیت‌ها، ارزیابی سیاست‌ها و گزینه‌های ویژه برنامه‌ریزی و مجموعه اهداف اجرا، با استفاده از مجموعه‌ای از شاخص‌های قابل اندازه‌گیری ارزیابی می‌شود: شاخص‌های قدیمی حمل و نقل که عمدتاً به شرایط ترافیک و وسایل نقلیه توجه می‌نمود [12]؛ سطح خدمات سواره‌رو که هر چه بیشتر باشد بهتر است؛ میانگین سرعت ترافیکی که فرض بر این است که هر چه بالاتر باشد بهتر است؛ قیمت و تسهیلات پارکینگ که تسهیلات بیشتر و قیمت پایین‌تر بهتر تلقی می‌گردد و در نهایت نرخ‌های تصادفات پایین‌تر که بهتر تلقی می‌شود.

اما شاخص‌های جامع حمل و نقل پایدار طیف گسترده‌ای از اثرات را محاسبه می‌نماید. این شاخص‌ها باید همان‌طور که در جدول (۱) نشان داده شده است همه اثرات اعم از اقتصادی و اجتماعی و زیست‌محیطی را منعکس نماید.

سیستم حمل و نقل عمومی، دوچرخه و پیاده‌مداری همت گماشته‌اند. به واقع تشویق شهروندان به استفاده از سیستم‌های حمل و نقل پایدار با توجه به توزیع کاربری زمین و خصوصیات آن تأثیر به‌سزایی در کیفیت دسترسی افراد به نیازمندی‌هایشان دارد [9].

توسعه حمل و نقل پایدار افزایش دسترسی و تسهیل آن برای افراد به منظور برطرف کردن نیازهای آنان را در نظر می‌گیرد، به طوری که با کمترین جابه‌جایی و سالم‌ترین مدل حمل و نقل نظیر پیاده، دوچرخه‌سواری و حمل و نقل عمومی این جابه‌جایی صورت گیرد. از طرفی پیاده‌سازی این منطق در مناطق مرکزی و متراکم شهرها قابلیت بیشتری دارد و تأثیر مثبتی را می‌تواند در کاهش ازدحام و وسایل نقلیه شخصی داشته باشد. این پژوهش در پی یافتن اثرات کالبد کاربری زمین و ویژگی‌ها و تسهیلات شبکه حمل و نقل در تسهیلات عبور و مرور در بافت‌های CBD و متراکم شهری است و اینکه چگونه می‌تواند باعث توسعه حمل و نقل شهری به صورت پایدار شود [10].

یکی از تکامل یافته‌ترین دیدگاه‌های توسعه شهری که می‌تواند آغازی بر بهبود وضعیت کنونی شهرها و گامی مؤثر در راستای توسعه پایدار باشد، توسعه مبتنی بر حمل و نقل عمومی TOD است. امروزه نظریه‌پردازان مسائل شهری معتقدند صرفاً حمل و نقل عمومی برای تغییر الگوی توسعه و ایجاد تغییرات معنادار در فرم شهری کافی نیست. از این رو تأکید آن‌ها بر تلفیق سامانه‌های حمل و نقل عمومی در پایه و اساس شهر است و توسعه مبتنی بر حمل و نقل راهکار مناسبی برای این امر به شمار می‌رود. تأکید توسعه مبتنی بر حمل و نقل عمومی بر ارتباط متقابل حمل و نقل عمومی و توسعه شهری است. طرح‌های

جدول ۱ اثرات جامع حمل و نقل پایدار

اقتصادی	اجتماعی	زیست محیطی
ازدحام ترافیک	عدالت اجتماعی	آلودگی آب و هوا
موانع جابجایی	اثرات بر جابجایی محرومان	تغییرات اقلیمی
زیان‌های تصادفات	اثرات بر سلامت انسان	اثرات آلودگی صوتی
هزینه‌های تسهیلات	انسجام اجتماع	تخریب زیستگاه
هزینه‌های مصرف	زیست‌پذیری اجتماع	اثرات هیدرولوژی
تقلیل منابع تجدیدناپذیر	زیبایی‌شناختی	تقلیل منابع تجدیدناپذیر

مهم‌ترین ابزار سنجش حمل و نقل پایدار، شاخص‌ها هستند. شاخص‌های حمل و نقل پایدار، شاخص‌هایی هستند که پایداری حمل و نقل را در سه بخش محیط زیستی، اقتصادی و اجتماعی نشان می‌دهند. فصل ۴۰ دستورالعمل قرن ۲۱ بر لزوم تعریف شاخص‌های توسعه پایدار در سطوح مختلف به عنوان پایه‌ای برای تصمیم‌گیری‌ها تأکید می‌کند [13]. شاخص‌های توسعه پایدار که برای کمی کردن مفاهیم توسعه پایدار به کار می‌روند باید بر پایه معیارهای مناسب انتخاب شوند. شاخص‌ها باید دارای ویژگی‌های زیر باشند:

الف) نیازهای سیاست‌گذار یا برنامه‌ریز را پاسخگو باشند؛
ب) مشخص، پر بازده و غیر قابل اشتباه شدن باشند؛ پ) امکان اندازه‌گیری داشته باشند؛ ت) جامع و شامل همه ابعاد اقتصادی، اجتماعی و محیط زیستی باشد؛ ث) واقع‌گرا و نشان‌دهنده حقیقی وضع موجود باشد؛ ج) شاخص‌ها باید از یکدیگر مستقل باشد؛ چ) اطلاعات آن‌ها در دسترس باشد؛ ح) پویا و حساس به تغییرات باشند و خ) اهمیت آن‌ها در طولانی مدت پایدار باشد.

پیشینه تحقیق

احمدیان و سعیدیان در سال ۱۳۸۷ [14] در مقاله‌ای تحت عنوان «تأثیر حمل و نقل بر کاربری‌های شهری با رویکرد توسعه پایدار» به بررسی عوامل مؤثر در حمل و نقل و کاربری‌های شهری با رویکرد توسعه پرداختند. در آن تحقیق، توجه به حمل و نقل عمومی، توسعه پیاده‌روی و در حوزه حمل و نقل شهری و همچنین افزایش تراکم با هدف افزایش تقاضای حمل و نقل عمومی و ایجاد کاربری‌های ترکیبی به منظور کاهش فاصله زمانی و مکانی سفرها با اولویت طراحی تدابیر فوق در کاربری‌های اطراف ایستگاه سامانه‌های حمل و نقل عمومی به ویژه مترو در قالب الگوی توسعه شهری با محوریت حمل و نقل عمومی (TOD) پرداختند. در تحلیل کلی بر عوامل مؤثر در رشد کالبدی شهر تهران، نسبت به بررسی و تحلیل کاربری‌های اطراف ایستگاه دروازه دولت اقدام گردید و در نهایت راهبردهای مداخله در بافت شناسایی و به منظور دستیابی به اهداف تحقیق، ضمن ارائه گزینه‌های پیشنهادی مداخله در بافت و انتخاب گزینه برتر، نسبت به ارائه ضوابط و راهبردهای پیشنهادی اقدام شده است.

رفعیان و همکاران در سال ۱۳۹۳، در مقاله‌ای پژوهشی تحت عنوان «ارائه فرایند طراحی شهری اجتماعات محلی با تأکید

بر رویکرد توسعه حمل و نقل محور» در رویکردی توصیفی - تحلیلی و با استفاده از شیوه‌های مرور متون و منابع، استفاده از اسناد تصویری و مصاحبه، درصدد تدقیق نقش توسعه حمل و نقل محور، به عنوان یک راهکار، در تحقق طراحی شهری پایدار و ارتقای کیفیت زندگی و قابلیت زیست‌پذیری در بافت‌های متراکم شهری پرداختند. هدف از انجام دادن این پژوهش، شفاف‌سازی رابطه رویکرد حمل و نقل محور با طراحی شهری با ضوابط زیست‌پذیر، بازشناسی اهداف، مزایا، مفاهیم و راهکارهای اجرایی مرتبط با این رویکرد حمل و نقل محور، تبیین لزوم بهره‌گیری از فواید حاصل از سیستم حمل و نقل عمومی کارا در توسعه بافت‌های شهری و ارائه فرایند طراحی شهری حمل و نقل محور اجتماعات محلی بوده است [15]. لی و مودن در سال ۲۰۱۶ میلادی در مقاله‌ای تحت عنوان «اندازه‌گیری کاربری زمین و شکل شهری همبستگی‌های آن با پیاده‌روی» ارتباط عمیق فشردگی و تراکم بافت محلات مسکونی و میزان تمایل شهروندان به پیاده‌روی را با استفاده از یک مدل رگرسیون مورد بررسی قرار دادند. مواردی چون طول کمتر در بلوک‌ها، ابعاد کوچک‌تر در قطعه‌بندی، تراکم مسکونی بالاتر می‌تواند تأثیر به‌سزایی در افزایش پیاده‌مداری محلات در توسعه حمل و نقل پایدار داشته باشد. وجود شکل‌های متباین، گشایش، تنوع و مهم‌تر از همه رعایت مقیاس انسانی نقش به‌سزایی در پیاده‌مداری به ویژه در مناطق مرکزی شهرها را دارد. از طرف دیگر، پستی و بلندی مناسب معبر، ایجاد نسبت بهینه در ارتباط عرض معبر و عرض مسیرهای پیاده، استفاده از جزئیات طراحی مسیر مانند پوشش گیاهی و مبلمان شهری، درجه نفوذپذیری بالاتر معابر به منظور افزایش فرصت‌های انتخاب و تغییر مسیر، تقسیم‌بندی مسیرهای پیاده‌روی و ایجاد تجهیزات لازم برای دوچرخه‌سواری، شهروندان را به استفاده از ابزارهای حمل و نقلی غیر موتوری تشویق می‌کند. [16] در تحقیقی که توسط اسکرزا و همکاران [17] انجام شد، تجزیه و تحلیل و ارزیابی ویژگی‌های مورفولوژیکی شبکه خیابانی شهر پوتنزا (یک شهر متوسط، مرکز شهرستان منطقه باسیلیکاتا - ایتالیا) بر اساس شناسایی گزینه‌های توسعه پایدار مرتبط با مطالعه موردی انتخاب شده، انجام شد. در این تحقیق یک چارچوب زیرساخت تحرک فعال برای بهبود سیاست‌های توسعه پایدار به عنوان یک جزء برنامه‌ریزی شهری شناسایی شد. این تحقیق روش مورد استفاده را برای ایجاد یک

سناریوی «مورفو نحوی» برای شهر مورد مطالعه ارائه می‌کند. تکنیک‌های سنتی برای تجزیه و تحلیل مورفولوژیکی (شامل شیب زمین و خیابان) با اندازه‌گیری‌های پیکربندی فضایی مبتنی بر نظریه نمودار ریاضی با استفاده از تحلیل نحو فضا و تحلیل نحو مکان به عنوان یک چارچوب توسعه یافته برای ارزیابی «مکان‌های شهری» ادغام شده‌اند. نتایج نشان داد، نتایج به دست آمده توسط این رویکرد برای برنامه‌ریزی یک سناریوی تحرک شهری پایدارتر بر اساس شبکه مسیر عابر پیاده برای شهر پوتنزا مفید است و یک چارچوب تحلیلی قابل انتقال برای موارد مشابه را نشان می‌دهد. پژوهشی دیگر به بررسی مسائل اصلی در توسعه سیستم‌های حمل و نقل پایدار با تمرکز بر اتحادیه اروپا می‌پردازد و روندهای اخیر را برای شناسایی مهم‌ترین حوزه‌های تحقیقاتی که پیشرفت آن‌ها تأثیر زیست‌محیطی این بخش را کاهش می‌دهد، برجسته می‌کند در این پژوهش، با پیروی از دستورالعمل‌های کمیسیون اروپا، سه موضوع فرعی متمرکز شده است: شبکه‌های زنجیره تأمین، حمل و نقل بین‌وجهی بار و حمل و نقل مسافر در مناطق شهری. بر اساس بررسی ادبیات، هر موضوع فرعی از نظر نیازها، موانع، و روندهای تحقیقاتی اخیر تحلیل می‌شود. برخی از مشارکت‌ها برای برآوردن نیازهای شناسایی شده و غلبه بر موانع شناسایی شده به عنوان خطوط پایه برای رسیدگی به دستور کار تحقیقاتی آینده گزارش شده‌اند. یافته‌های اصلی با اکثر کشورهای صنعتی مطابقت دارد که انتظار می‌رود کاهش قابل توجهی در تأثیرات زیست محیطی خود داشته باشند. در عین حال، با برجسته کردن نمونه‌هایی از اقدامات خوب و شناسایی محدودیت‌های سازگاری، این کار می‌تواند از کشورهای در حال توسعه نیز در مقابله با این موضوع حمایت کند. در یک مطالعه طولی که از طریق یک سیستم اطلاعات مکانی و بررسی ۴۰۰ مسافری که در شعاع ۱ کیلومتری TOD برنامه‌ریزی شده زندگی می‌کنند، با هدف بررسی یک فاصله هشت ساله بین سال‌های ۲۰۱۳ و ۲۰۲۰ از دو جنبه، به ویژه کاربری زمین و توزیع فضایی، انجام شد و همچنین رفتار مسافرتی و ترجیحات مسافران در اجرای TOD و تغییرات سفر به دلیل همه‌گیری COVID-19 یافته‌های کلیدی به شرح زیر است: افزایش تنوع در عملکرد مسکونی در اطراف مناطق برنامه‌ریزی شده TOD در پایتخت جاکارتا و کاهش در حومه‌ها، که نشان‌دهنده آمادگی بهتر مسافران برای اقامت در مناطق برنامه‌ریزی شده TOD است.

علاوه بر این، روابط خویشاوندی دلیل اصلی مسافران هنگام انتخاب مکان خانه بود، بدون اینکه ظرفیت تغییر محل کار خود را داشته باشند. افزایش قابل توجه امکانات عمومی به هزینه فضای باز سبز (GOS)^۲ نشان می‌دهد که اجرای TOD توسط دولت با انحصار اختیار برای مدیریت GOS انجام شده است، بدون دخالت بخش خصوصی. عامل هزینه اصلی‌ترین دلیل برای استفاده مسافران از حمل و نقل عمومی به جای روش‌های حمل و نقل جدید مانند LRT^۳ بود. علاوه بر این، رفتار مسافرتی در همه ایستگاه‌های حمل و نقل مورد مطالعه، در حالی که شواهدی از تغییرات زمان و فرکانس را نشان می‌داد، تا حد زیادی تحت تأثیر محدودیت‌های مرتبط با COVID-19 قرار نگرفت [18]. در پژوهش دیگری به ارزیابی و اعتبارسنجی رابطه متقابل مورفولوژی شهری و فرم شهری پایدار پرداخته شد. این مطالعه یک مدل مفهومی را پیشنهاد می‌کند که با استفاده از نظریه پایه کیفی به عنوان روش تحقیق، همبستگی کل‌نگر بین فرم شهری پایدار و مورفولوژی شهری را ادغام و ارائه می‌کند. این مدل با معرفی ابزارهای تحلیلی برای ارزیابی پایداری، همراه با ادغام شکل‌شناسی تاپی و مفهوم سلسله مراتب مقیاس توسعه داده شد. یافته‌های این مطالعه نشان می‌دهد که تک تک اجزای فرم شهری پایدار به طور قابل توجهی با رویکرد تاپیمورفولوژی تعامل دارند. در نتیجه، نتایج به برنامه‌ریزان شهری کمک می‌کند تا تصمیمات آگاهانه‌تری در مورد تحلیل هندسی مورفولوژی شهری از نقطه نظر پایداری بگیرند [19]. در پژوهشی دیگر به بررسی قابلیت انتقال روش چند معیاره مبتنی بر سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) که در پروژه تحقیقاتی شبکه هوشمند عابر پیاده (SPN) برای ارزیابی سطح پیاده‌روی در یک شبکه عابر پیاده در گیمارس، پرتغال توسعه یافته است، پرداخته شد. این روش شامل ارزیابی ۱۹ ویژگی محیط ساخته شده و منظره خیابان است که توسط گروهی از متخصصان به دنبال فرایند تحلیل سلسله مراتبی امتیازدهی شد. این روش در ارزیابی شبکه عابر پیاده و در نقشه‌برداری قابلیت پیاده‌روی در منطقه مورد مطالعه کارآمد است. حدود ۶۵ درصد از طول خیابان‌ها امتیاز بالاتر از ۰٫۶۰ را کسب کردند که نشان می‌دهد شرایط کلی عابر پیاده مطلوب است و بهترین معیارهای عملکرد مربوط به دسترسی و اتصال خیابان است. این روش همچنین امکان شناسایی سطوح مختلف پیاده‌روی در منطقه مورد مطالعه و فقدان شبکه عابر پیاده از

تحقیقات علمی مرتبط با موضوع تحقیق به طور دقیق‌تری پرداخته خواهد شد. در مرحله دوم بعد از اینکه مبانی و تحقیقات گذشته بررسی شد با توجه به شناخت منطقه مطالعه موردی و پتانسیل‌ها و ظرفیت‌هایی که در خصوص ارتباط دو دسته شاخص فوق با توسعه پایدار حمل و نقل وجود دارد، شاخص‌های مورد نظر و تأثیرگذار محتمل انتخاب می‌شود. در مرحله سوم با توجه به شاخص‌های تعیین شده و برداشت‌های اولیه از محیط و بررسی مسائلی چون عرض معبر، تراکم ساختمانی، ارتفاع، کاربری زمین و ... پرسشنامه‌ای برای دریافت اطلاعات از افراد تدوین و طراحی خواهد شد پس از روشن و صریح بودن، تعداد و شیوه نگارش پرسش‌ها از دید پاسخگویان و همچنین با توجه به شاخص‌های آماری (جامعه آماری، میزان پراکندگی نتایج اولیه به دست آمده و درصد اطمینان مورد انتظار) پرسشنامه‌ها استانداردسازی شده و مابین افراد منطقه مطالعه موردی توزیع خواهد شد. در مرحله چهارم با استفاده از مدل‌سازی ریاضی و آماری و بررسی ارتباط و میزان تأثیر متغیرهای مستقل نسبت به متغیر وابسته توسعه حمل و نقل پایدار (میزان دسترسی بالا و کاهش جابه‌جایی در محلات متراکم شهری) تعیین می‌شود. قابل ذکر است که معیار ارزیابی در مدل‌سازی سطح معناداری، آزمون t و ضریب همبستگی است که در نهایت منجر به ارائه مدل خواهد شد. در مرحله پنجم پس از سنجش میزان متغیر وابسته (حمل و نقل پایدار) در محلات بافت‌های متراکم شهری، کمبدها و پتانسیل‌ها مورد بررسی قرار گرفته و پس از نتیجه‌گیری به یک سری پیشنهادات پرداخته خواهد شد (شکل ۱).

در این تحقیق، به ارزیابی مناطقی از بافت‌های شهری پرداخته شد که با توجه به معیارهای کاربری‌ها و ویژگی‌های شبکه حمل و نقل می‌تواند در پایداری حمل و نقل و جابه‌جایی افراد، توسعه ایجاد کند. بدین منظور در این تحقیق ابتدا به شناخت ویژگی‌های مربوط به حمل و نقل پایدار در دو نظام کاربری‌های شهری و شبکه حمل و نقل در شهر آمل با استفاده از پرسشنامه، بررسی‌های میدانی و اطلاعات اخذ شده در طرح‌های قبلی پرداخته شد، سپس با استفاده از مدل‌سازی آماری رگرسیون بر اساس مشاهدات پرسشنامه، متغیر وابسته یعنی اندازه‌گیری کیفیت ویژگی‌های حمل و نقل پایدار در محلات مختلف (در ۱۲ محله تعیین شده) وابسته به متغیرهای مستقل مرتبط با سیستم حمل و نقل و کاربری زمین اندازه‌گیری شد.

خیابان‌های دارای امتیاز بالا را فراهم کرد. با توجه به نتایج، روش SPN می‌تواند در شهرهای دیگر برای ارزیابی قابلیت پیاده‌روی تکرار شود و می‌تواند یک ابزار برنامه‌ریزی مفید برای حمایت از سیاست‌ها در راستای توسعه شهرهای قابل پیاده‌روی بیشتر باشد [20]. در تحقیقی که توسط دومینیکو و همکاران انجام شد، بر روی مدل‌های تحرک عابر پیاده تمرکز نمودند. پس از تجزیه و تحلیل ادبیات بخش، برخی از مشکلات گردش عابر پیاده شهری به منظور تعریف توابع امیدانس زمانی با شروع بررسی‌های تجربی مورد بررسی قرار گرفته است. مدل‌هایی برای تخمین سرعت در حال اجرا در شرایط مختلف محیطی مشخص و کالیبره شده است [21].

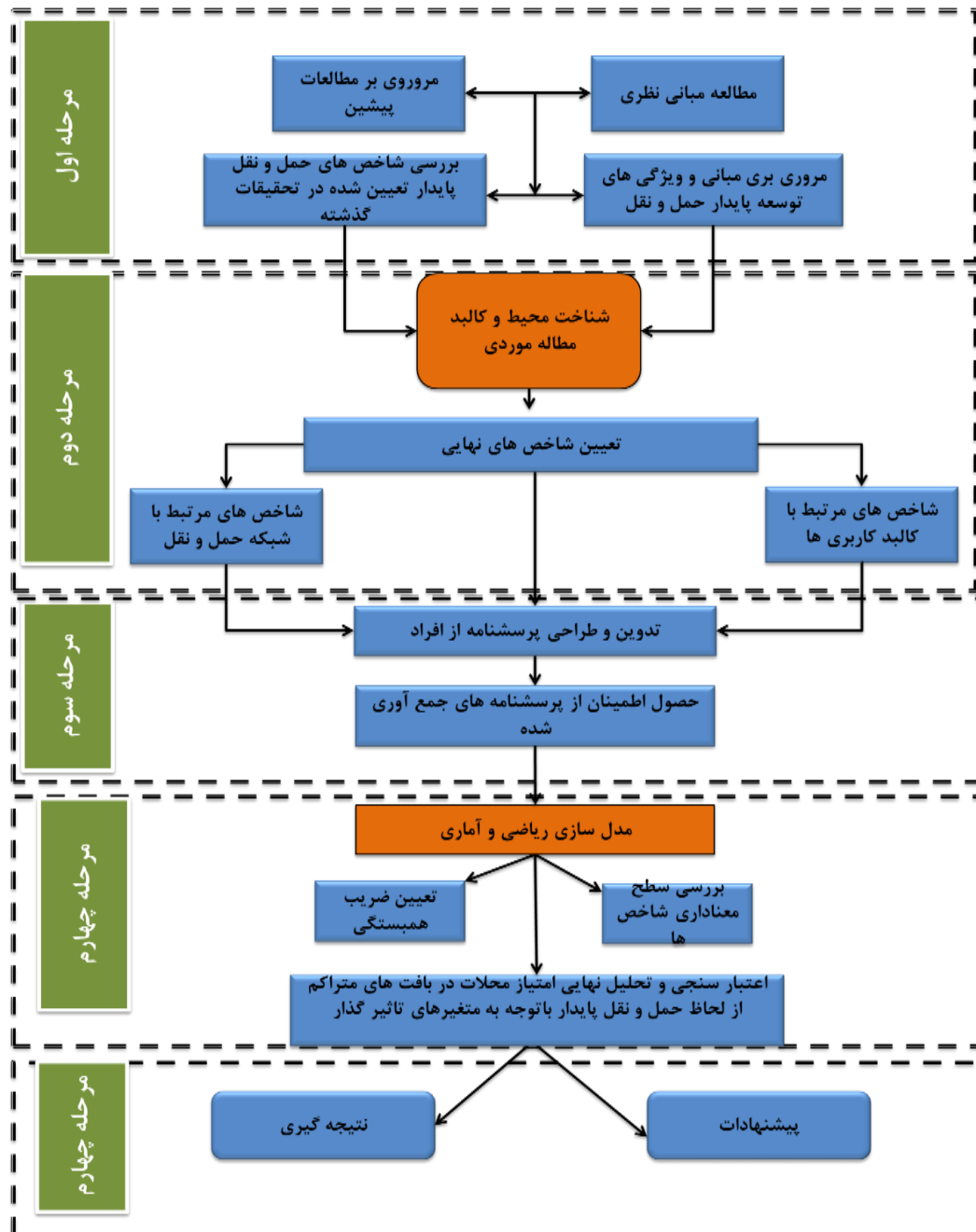
هدف اصلی این تحقیق ارائه مدلی آماری برای اندازه‌گیری پتانسیل مناطقی است که با توجه به معیارهای کالبد کاربری‌ها و ویژگی‌های شبکه حمل و نقل می‌تواند در پایداری حمل و نقل و جابه‌جایی افراد توسعه ایجاد کند. این توسعه می‌تواند در زمینه پیاده‌روی، دوچرخه‌سواری و حمل و نقل عمومی باشد. نتیجه این تحقیق ارائه راهکاری برای سهولت در عبور و حضور شهروندان است.

روش تحقیق

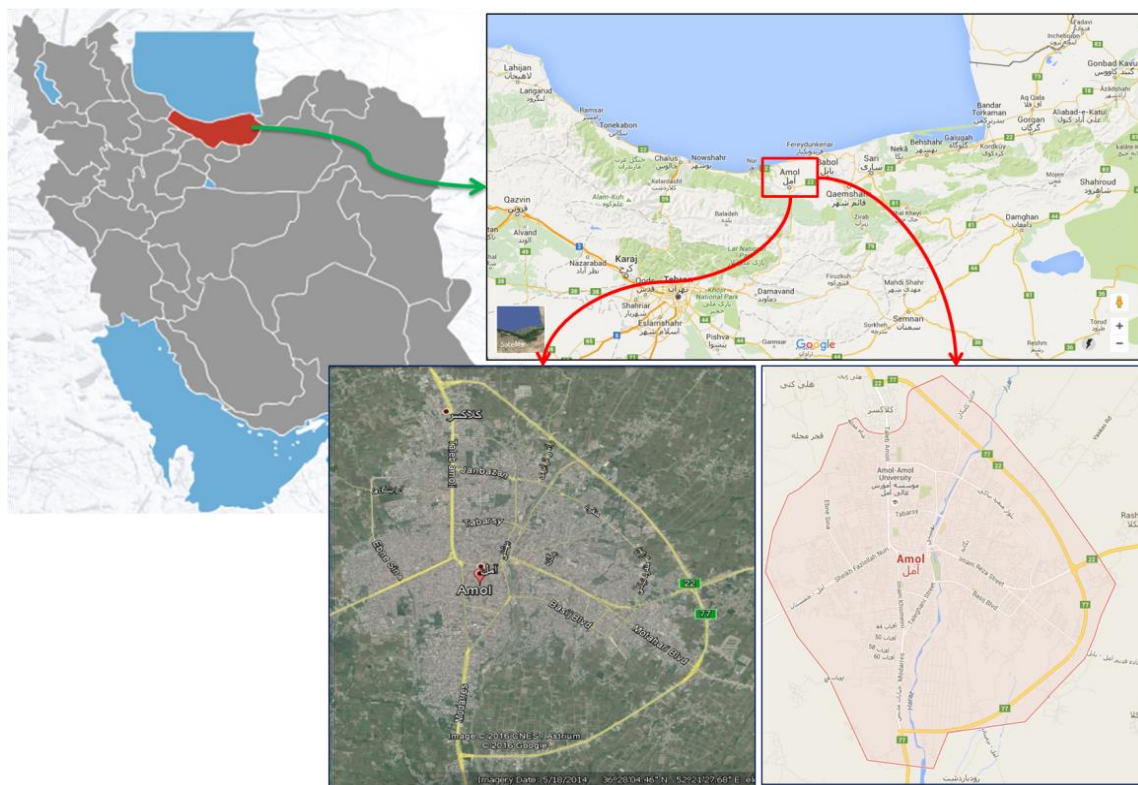
در مرحله اول مبانی نظری و ادبیات شامل مواردی همچون شاخص‌های کالبدی کاربری‌ها و همچنین شاخص‌های مرتبط با شبکه معابر با توجه به مبانی تحقیقات مورد بررسی قرار می‌گیرد، شایان ذکر است که شاخص‌ها در دو دسته مربوط به (۱) شبکه معابر و شاخص‌های حمل و نقلی و (۲) ساختار و کالبد کاربری‌ها دسته‌بندی می‌شوند. این شاخص‌ها در دسته اول می‌تواند مواردی چون عرض معبر، عرض مسیر پیاده‌رو، نفوذپذیری و تعداد تقاطعات، وضعیت پارکینگ و ... باشد، همچنین این شاخص‌ها در دسته دوم می‌تواند شامل مواردی چون نوع کاربری، کاربری مختلط، تراکم ساختمانی، تعداد طبقات با تراکم ارتفاعی و ... باشند که این شاخص‌ها در دو نظام فوق متغیرهای مستقلی می‌شوند برای اندازه‌گیری توسعه حمل و نقل پایدار که در واقع امروز به آن توسعه و رشد هوشمند می‌گویند و همان طور که گفته شد برای افراد و رفع نیازمندی‌های روزانه خود زمینه‌ای را ایجاد خواهد نمود تا با افزایش دسترسی و کاهش جابه‌جایی توسط وسیله نقلیه شخصی و موتوری فراهم شود. پس از آن به

ادامه سطح معناداری و میزان تأثیر شاخص‌ها در حمل و نقل پایدار در بافت‌های متراکم تعیین گردید و در نهایت مدل‌سازی آماری بین متغیرها و پیشنهاد الگو جهت توسعه حمل و نقل پایدار در محلات پس از سنجش و ارزیابی امتیاز آن نیز انجام پذیرفت.

بدین منظور در راستای پژوهش نیز به شناخت عواملی که باعث افزایش دسترسی و کاهش جابه‌جایی با وسایل نقلیه و رشد هوشمند شهرها می‌شود (نظیر کاربری‌های مختلط، تراکم بالا و...) پرداخته شد. همچنین شناخت و تعیین متغیرهای مستقل در توسعه حمل و نقل پایدار در دو نظام کالبد کاربری‌ها و ویژگی‌های شبکه حمل و نقل در مناطق متراکم صورت پذیرفت. در



شکل ۱. فلوچارت کلی فرایند تحقیق



شکل ۲ محدوده مورد مطالعه (شهرستان آمل)

معرفی حوزه مطالعه موردی شهر آمل

در این تحقیق منطقه مورد مطالعه شهر آمل در شهرستان آمل می‌باشد که در مرکز استان مازندران قرار دارد و از شمال به شهرستان محمودآباد، از شمال شرق به شهرستان فریدونکنار، از شرق به شهرستان بابل، از غرب به شهرستان نور و از جنوب به استان تهران محدود می‌شود. این شهرستان همان طور که گفته شد با جمعیتی برابر با ۳۷۰۷۷۴ نفر جمعیت (شهر آمل؛ ۲۷۱۲۶۹ نفر) و ۳۰۷۴۰۴ کیلومتر مربع مساحت دارای پنج شهر آمل، رینه، گزنک، دابودشت و امامزاده عبدالله و پنج بخش مرکزی، لاریجان، دابودشت، دشت سر و امامزاده عبدالله است. (شکل ۲) محدوده مورد مطالعه را به خوبی نشان می‌دهد.

ویژگی‌های کالبدی شهر آمل

در حین توسعه کالبدی شهر آمل چند نوع بافت ایجاد شده است که شامل بافت قدیم، بافت منطقه میانی و بافت مناطق بیرونی می‌باشد که هر یک دارای خصوصیات خاص خود هستند، بافت قدیم شامل هسته اولیه شهر بوده و عناصر آن

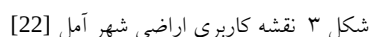
بازار، مسجد جامع، حمام‌ها و مجموعه واحدهای مسکونی می‌باشد. بافت منطقه میانی شامل مساکنی است که تا آغاز دهه ۴۰ ساخته شده است. محله‌های رضوانیه، هارون محله، اسکی محله، محله پایین بازار و گرجی محله نمونه‌هایی از بافت مناطق میانی شهر می‌باشند. بافت مناطق بیرونی که به دو صورت مناطق تازه گسترش یافته و مناطق حاشیه‌ای توسعه یافته است یا محل سکونت خانواده‌هایی است که بخش مرکزی شهر را ترک گفته و در مساکن ویلایی این بخش ساکن می‌گردند و یا روستاهایی که به علت توسعه شهر به بدنه شهر متصل گردیده و به صورت محلات شهری درآمده‌اند. محلات بازیارکلا، کلاکسر، قرق و رحمت‌آباد از جمله این محلات در شهر آمل می‌باشند.

بافت اکولوژیکی شهر آمل نیز همانند بسیاری از شهرهای کشور در این سال‌ها الگوهای متفاوتی یافته و سکونت‌گزینی طبقات مختلف آن با توجه به تغییر و تحولات اجتماعی، از مدل‌های خاصی پیروی می‌کند و مناطق مختلف شهر آمل جایگاه طبقات مختلف می‌گردد. در طی سال‌های دهه ۶۰ رشد شهر در نیمه غربی و در حول و حوش جاده محمود آباد و

غرب شهر و مابقی توسعه نیز در قسمت جنوبی شهر اتفاق می افتد.

بررسی روند توسعه کالبدی شهر مابین سال‌های ۱۳۴۵ تا ۱۳۸۵ نشان می‌دهد که توسعه شهر کاملاً هماهنگ با رشد و افزایش جمعیت نبوده و توسعه کالبدی شهر بر رشد جمعیت شهر پیشی گرفته و توسعه کالبدی کاذبی را برای شهر آمل به وجود آورده است. در رابطه با الگوی توسعه شهر آمل در میان نظریه‌های مطرح، ساخت ستاره‌ای یا شعاعی تا اندازه‌ای در شهر آمل مشاهده می‌شود. در طی سال‌های بعد، توسعه شهر در کنار راه‌های اصلی شهر آمل صورت گرفته، در حالی که مابین این خیابان‌های اصلی زمین‌های خالی زیادی قابل مشاهده است. در سال‌های بعد از دهه شصت علی‌رغم اینکه توسعه شهر کماکان در امتداد خیابان‌های اصلی شهر به روند خود ادامه می‌دهد، شاهد شکل‌گیری هسته‌های جدید خدماتی، تجاری و اداری در

بر مبنای نتایج مطالعات کالبدی و محاسبات نقشه‌های وضع موجود، مساحت شهر آمل در محدوده طرح تفصیلی ۲۷۰۲ هکتار می‌باشد که از این مساحت ۱۰۶۹ هکتار آن به اراضی ساخته شده تعلق دارد. توسعه و گسترش افقی بافت کالبدی شهر که از تراکم ساختمانی کمی برخوردار است و در سطح وسیعی گسترده شده است، هزینه سرانه ارائه بسیاری از خدمات شهری را بیشتر از حد متعارف نموده است. از مجموع کل سطوح خالص شهری ۵۵ به کاربری مسکونی اختصاص یافته است. نقشه کاربری اراضی شهر آمل در آخرین طرح جامع این شهر ۱۳۸۵، به صورت شکل (۳) زیر است:



محدوده مرکزی شهر آمل

برای تعیین مرز بخش مرکزی شهرها شیوه‌های مختلفی وجود دارد. یکی از بهترین شیوه‌ها که در شهر آمل نیز قابل اجراست، شناسایی ویژگی‌ها و مشخصات این بخش از شهر است که با شناخت و تشخیص آن می‌توان مرز این محدوده را بر روی نقشه شهر ترسیم کرد. ویژگی‌هایی را که نقش اصلی در شناسایی بخش مرکزی آمل دارند می‌توان چنین برشمرد:

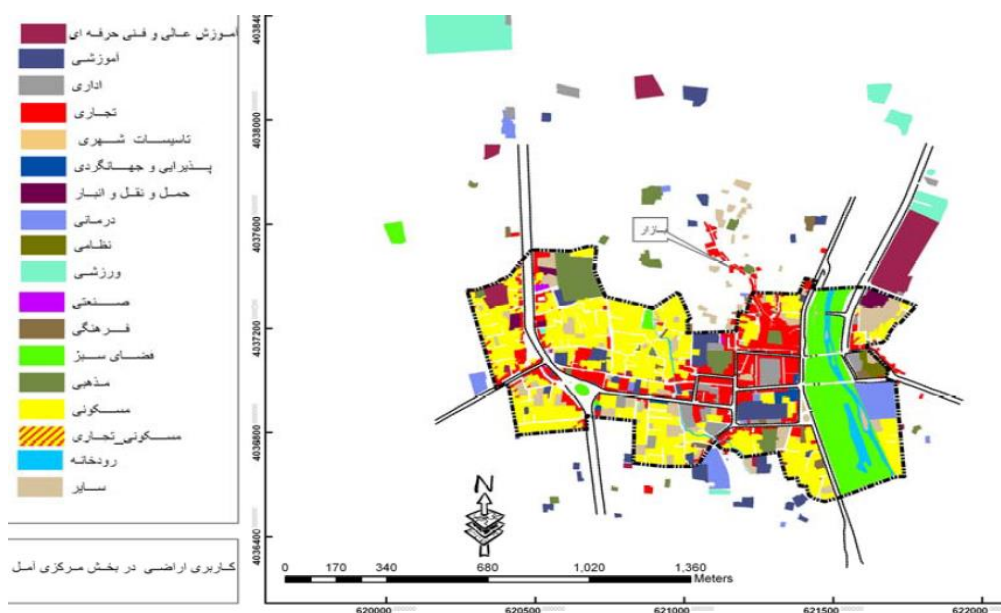
- ۱) وجود بازار و مسجد جامع (مسجد امیرالمؤمنین) که هسته تاریخی شهر به شمار می‌آید.
- ۲) قرار گرفتن بناهای تاریخی و مذهبی در این بخش از شهر مثل بقعه خضر، امامزاده ابراهیم، مسجد آقاعباس.
- ۳) همگرایی هشت خیابان اصلی شهر در این محدوده و دسترسی بالای این قسمت از شهر در مقایسه با سایر نقاط.
- ۴) وجود ترافیک سنگین در ساعات‌های معینی از روز (مثلاً هنگام تعطیلی مدارس)
- ۵) تراکم عابران پیاده در معابر، به طوری که به محض خروج از مرزهای این بخش به سرعت از تراکم آن‌ها کاسته می‌گردد.
- ۶) بالا بودن تراکم جمعیت مراجعه کننده به این قسمت از شهر در روز (پرو و خالی شدن جمعیت در روز و شب).
- ۷) تمرکز و تنوع فعالیت‌ها، سازمان‌های اداری، مدارس، بانک‌ها، سینما، بیمارستان، مطب پزشکان و پاساژهای تجاری.
- ۸) تراکم بالای ساختمانی در این بخش و وجود بلندترین

ساختمان‌های شهر در این محدوده.

۹) بالا بودن قیمت زمین و سرقفلی.

۱۰) عکس هوایی و نقشه شهر.

بخش مرکزی شهر آمل تقریباً در مرکز هندسی فضای شهر قرار گرفته است، چرا که مقر و نشستگاه شهر آمل، بستری جلگه-ای است که توپوگرافی نسبتاً همواری دارد. تکوین و گسترش فیزیکی کالبدی شهر تقریباً به گونه‌ای موزون و برابر در همه جوانب بوده است، لذا برخلاف بسیاری از شهرها که بین بخش مرکزی و مرکز هندسی اختلاف و فاصله دیده می‌شود (به ویژه شهرهایی که با محدودیت فضایی رو به رو هستند) مرکز شهر آمل بر مرکز هندسی آن انطباق کامل دارد. در زمان حاضر شهر آمل به ۱۰ منطقه شهری تقسیم شده است. به جز بخش مرکزی که محدوده آن طبق اصول معیارهای تقسیم‌بندی سایر مناطق عبارت بودند از: شبکه اصلی ارتباط درون‌شهری، تقسیم‌بندی حوزه‌های آماری مرکز آمار، ساخت قطاعی شهر آمل و همگنی نسبی طبقات اجتماعی واقع در هر منطقه. هر کدام از این مناطق به صورت قطاعی جداگانه دور تا دور مرکز شهر مشخص شده‌اند. از بین مناطق مختلف شهر، بخش مرکزی کمترین وسعت را به خود اختصاص داده است. از کل مساحت شهر که ۲۷۰۲ هکتار است این بخش در حدود ۸۷ هکتار را در بر می‌گیرد که در حدود ۳ درصد از کل مساحت شهر است. شکل (۴) موقعیت و کاربری-های مختلف این محدوده را در مرکز شهر آمل را نشان می‌دهد:



شکل ۴ نقشه تمرکز و تنوع کاربری در بخش مرکزی شهر آمل

بر توسعه حمل و نقل پایدار»، تهیه شده است تا در نهایت مشخص شود که هر یک از عوامل تا به چه میزان در توسعه حمل و نقل پایدار در آمل تأثیر می‌گذارد. پرسشنامه در دو بخش می‌باشد، بخش اول مربوط به سؤال‌های فردی و عمومی می‌باشد و در بخش دوم سؤالات پیرامون حمل و نقل پایدار در بافت مرکزی متراکم شهر آمل می‌باشد. در طراحی سؤالات سعی بر آن بوده است که از مؤلفه‌هایی که در تحقیقات گذشتگان استفاده شده است بهره گرفته شود و با توجه به بررسی مبانی نظری تحقیق و شناخت کلی مطالعه موردی و عوامل مؤثر بر توسعه حمل و نقل پایدار در بافت‌های متراکم شهری، سؤالات طراحی گردد. هدف اصلی این پرسشنامه جمع‌آوری اطلاعات از شهروندان جهت بررسی و سنجش حمل و نقل پایدار در مراکز و بافت متراکم شهر آمل است که با توجه به خصوصیات افراد در نظر گرفته خواهد شد.

یکی از پرکاربردترین روش‌های آماری در علوم مختلف، اجرای انواع روش‌های رگرسیون برای تعیین رابطه بین یک متغیر وابسته با یک یا چند متغیر مستقل می‌باشد. متغیر وابسته، پاسخ و متغیرهای مستقل، متغیرهای توضیحی نیز نامیده می‌شوند. اجرای یک مدل رگرسیونی با تعریف مدل رگرسیون امکان‌پذیر است. مدل رگرسیونی ساده با متغیر وابسته Y و $p-1$ متغیر مستقل $X_1, X_2, \dots, X_{p-1}$ به صورت زیر تعریف می‌شود.

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_{p-1} X_{p-1} + \varepsilon_i$$

$$i = 1, 2, \dots, n$$

(۲)

به عنوان مثال فرض کنید یک محقق قصد دارد اثر دو متغیر سن و وزن را بر فشار خون اندازه‌گیری کند. برای این مطالعه مقادیر سن و وزن برای $n=500$ نفر اندازه‌گیری می‌شود. در این مطالعه سن و وزن متغیرهای مستقل یا پیشگو و متغیر فشار خون متغیر وابسته می‌باشد.

معادله (۲) را می‌توان به فرم ماتریسی زیر نیز تعریف کرد:

$$\mathbf{Y}_{n \times 1} = \begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ \vdots \\ Y_n \end{bmatrix} \quad \mathbf{X}_{n \times p} = \begin{bmatrix} 1 & X_{11} & X_{12} & \dots & X_{1,p-1} \\ 1 & X_{21} & X_{22} & \dots & X_{2,p-1} \\ \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots \\ 1 & X_{n1} & X_{n2} & \dots & X_{n,p-1} \end{bmatrix}$$

(۳)

جهت بررسی رفتار یک جامعه، از آن جا که بررسی کل جامعه با توجه به محدودیت‌های زمان و بودجه امکان‌پذیر نیست، بنابراین باید قسمتی از جامعه آماری مورد تحلیل و بررسی قرار گیرد. تخمین هر مدل آماری به تعداد درجه آزادی مطمئنی نیاز دارد. فرمول کوکران یکی از پرکاربردترین روش‌ها برای محاسبه حجم نمونه آماری است. تعیین حجم نمونه با استفاده از فرمول کوکران نیازمند آن است که حجم جامعه را بدانید. حداقل تعداد نمونه آماری مورد نیاز، با استفاده از فرمول اصلی محاسبه حجم نمونه کوکران از معادله (۱) قابل محاسبه است:

$$n = \frac{z^2 pq}{d^2} \left/ \left(1 + \frac{1}{N} \left(\frac{z^2 pq}{d^2} - 1 \right) \right) \right. \quad (1)$$

که در آن، N تعداد جامعه آماری، n حجم نمونه، Z مقدار متغیر نرمال واحد استاندارد که در میزان اطمینان ۹۵ درصد برابر ۱.۹۶ است، d مقدار خطای مجاز که معمولاً برابر ۰.۰۱ یا ۰.۰۵ است، همچنین p مقدار صفت موجود در جامعه است که اگر در اختیار نباشد، می‌تواند بر اساس پیشنهاد کوکران مقدار ۰.۵ در نظر گرفته شود. در این حالت، مقدار پراکنش به حداکثر مقدار خود می‌رسد. q نسبتی از جمعیت فاقد صفت معین $q = 1 - p$ است اگر در اختیار نباشد می‌توان آن را ۰.۵ در نظر گرفت.

با در نظر گرفتن جمعیت ۲۷۱۲۶۹ نفر شهر آمل، برای جامعه آماری و سطح اطمینان ۹۵ درصد، و در صد خطا ۰.۰۷، حجم نمونه برابر با ۱۹۶ پرسشنامه می‌باشد.

برآورد حجم نمونه بر اساس فرمول کوکران	
سطح اطمینان:	۹۵%
درصد خطا:	۰.۰۷
جمعیت:	۲۷۱,۲۶۹
حجم نمونه مورد نیاز:	۱۹۶

شکل ۵ برآورد تعداد حجم نمونه شهر آمل بر اساس فرمول کوکران

در واقع این پرسشنامه با هدف «ارزیابی ویژگی‌های کالبد کاربری‌ها و شبکه حمل و نقل در ساختار شهری متراکم با تأکید

مجموع مربعات کل: این مقدار مجموع توان دوم تفاضل هر یک از اعضای بردار Y از میانگین این بردار حاصل می‌شود. مجموع مربعات کل با $SSTO$ نمایش داده شده و به صورت زیر تعریف می‌شود.

$SSTO$ دارای $n-1$ درجه آزادی است.

$$SSTO = Y'Y - \left(\frac{1}{n}\right) Y'JY = Y' \left[I - \left(\frac{1}{n}\right) J \right] Y \quad (9)$$

ماتریسی $n \times n$ است که تمام اعضای آن 1 هستند. مجموع مربعات رگرسیون: این مقدار میزان تغییراتی از متغیر پاسخ را که توسط مدل برازش شده تبیین می‌شود، نشان می‌دهد. مجموع مربعات رگرسیون دارای $p-1$ درجه آزادی می‌باشد:

$$SSR = b'X'Y - \left(\frac{1}{n}\right) Y'JY = Y' \left[H - \left(\frac{1}{n}\right) J \right] Y \quad (10)$$

مجموع مربعات خطا: میزان تغییراتی از متغیر پاسخ که توسط مدل رگرسیون بیان نمی‌شود، در مجموع مربعات خطا قرار می‌گیرد. این عبارت دارای $n-p$ درجه آزادی است.

$$SSE = e'e = (Y - Xb)'(Y - Xb) = Y'Y - b'X'Y = Y'(I - H)Y \quad (11)$$

ماتریس H به شکل زیر تعریف می‌شود:

$$H = X(X'X)^{-1}X' \quad (12)$$

با توجه به تعاریف ارائه شده ذکر این نکته لازم به نظر می‌رسد که مجموع تغییرات متغیر پاسخ به وسیله دو جزء مجموع مربعات رگرسیون و مجموع مربعات خطا قابل بیان می‌باشد.

$$SSTO = SSR + SSE \quad (13)$$

به این ترتیب میانگین مربعات رگرسیون و میانگین مربعات خطا از تقسیم SSR و SSE بر درجه آزادی هر یک حاصل می‌شوند و داریم:

$$MSR = \frac{SSR}{p-1} \quad MSE = \frac{SSE}{n-p} \quad (14)$$

در تحلیل همبستگی برای بررسی میزان هماهنگی میان دو متغیر باید به دنبال شاخص‌هایی بود که دو ویژگی زیر را داشته باشد:

ماتریس X مقادیر مشاهده شده $p-1$ متغیر را برای n نفر نشان می‌دهد. بردار Y نیز مقادیر مشاهده شده متغیر وابسته برای نمونه‌ای به حجم n می‌باشد. در یک مدل رگرسیونی β_j ها پارامترهای مدل بوده و به کمک روش‌های مختلفی مانند روش حداقل مربعات و روش درست‌نمایی ماکزیمم برآورد می‌شوند. ε_i ها نیز جملات خطا نامیده می‌شوند و دارای توزیع نرمال با میانگین صفر و واریانس σ^2 هستند.

$$\beta_{p \times 1} = \begin{bmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \\ \vdots \\ \beta_{p-1} \end{bmatrix} \quad \varepsilon_{n \times 1} = \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \vdots \\ \varepsilon_n \end{bmatrix}$$

$$\sigma^2 \{ \varepsilon \}_{n \times n} = \begin{bmatrix} \sigma^2 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \sigma^2 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & \sigma^2 \end{bmatrix} = \sigma^2 I$$

(۴)

معادله رگرسیون با تعریف ماتریس متغیرهای توضیحی و بردارهای متغیر پاسخ، پارامترهای مدل و جملات خطا به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$Y_{n \times 1} = X_{n \times p} \beta_{p \times 1} + \varepsilon_{n \times 1} \quad (5)$$

برآورد ضرایب رگرسیون: به کمک روش حداقل مربعات مقادیر بردار $\beta_{p \times 1}$ با مینیمم کردن معادله

$$Q = \sum_{i=1}^n (Y_i - \beta_0 - \beta_1 X_{i1} - \dots - \beta_{p-1} X_{i,p-1})^2 \quad (6)$$

حاصل می‌شود. برآورد بردار $\beta_{p \times 1}$ را با $b_{p \times 1}$ نشان داده و با توجه به فرم ماتریسی تعریف شده در معادله (۲) به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$b_{p \times 1} = (X'X)^{-1} (X'Y) \quad (7)$$

مقادیر برازش شده و خطاها: با برآورد پارامترهای مدل، برآورد بردار Y با استفاده از رابطه $\hat{Y}_{n \times 1} = Xb$ حاصل می‌شود. به $\hat{Y}$ مقادیر برازش شده گفته می‌شود. تفاوت بین مقادیر واقعی و مقادیر برازش شده مانده‌های رگرسیون نامیده می‌شوند:

$$e_{n \times 1} = Y - \hat{Y} = Y - Xb \quad (8)$$

مجموع و میانگین مربعات: برای تهیه جدول آنالیز واریانس و بررسی معنی‌داری مدل برازش داده شده به معرفی مقادیر مجموع مربعات خطا و میانگین مربعات خطا می‌پردازیم.

- به واحد دو جامعه وابسته نباشد.

- کران دار باشد.

مجموعه اطلاعات (داده‌های) موجود در انجام یک آزمون همبستگی که شامل اندازه‌های به دست آمده از دو متغیر X و Y می‌باشند را می‌توان به صورت یک نمونه تصادفی دو متغیره بیان کرد. مطالعه رابطه بین متغیرها به وسیله تحلیل همبستگی انجام می‌شود، که بیانگر وجود یک رابطه خطی بین دو متغیر می‌باشد. معادله ضریب همبستگی به صورت معادله شماره ۱ می‌باشد:

$$r = \frac{\text{Cov}(X, Y)}{S_x S_y} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{[\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2][\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2]}} \quad (15)$$

ضریب همبستگی همواره مقداری بین صفر و یک دارد $-1 < r < +1$ که با توجه به مقدار r در حالت‌های مختلف تفسیرهای گوناگونی از رابطه X و Y خواهیم داشت.

به طور کلی روندی که جهت تحقق اهداف و مقاصد پژوهش مورد توجه قرار می‌گیرد در هفت محور قابل طبقه‌بندی است که عبارتند از:

- ۱) سیاست توجه به پیاده‌روی، برنامه‌ریزی شهری، طراحی شهری و هندسی معابر پیاده، مهندسی ترافیک.
- ۲) آموزش و ایمنی پیاده، قوانین و مقررات پیاده‌روی، برنامه‌ریزی و مدیریت سامانه پیاده.

نتایج

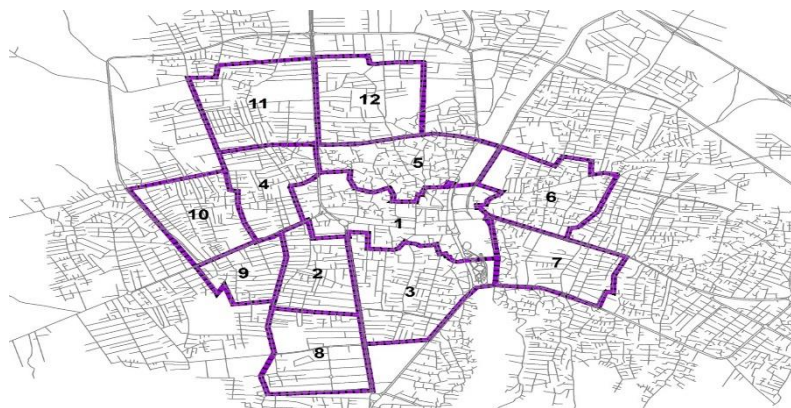
بررسی پرسشنامه‌های توزیع شده در محلات تعیین شده برای دستیابی به ارزیابی ویژگی‌های کالبد کاربری‌ها و دسترسی

و حمل و نقل در بافت‌های مختلف شهر آمل با تأکید بر توسعه حمل و نقل پایدار با توجه به ضریب اطمینان ۹۵ درصد، ۱۹۶ پرسشنامه باید جمع‌آوری شود.

در واقع این پرسشنامه با هدف «ارزیابی ویژگی‌های کالبد کاربری‌ها و شبکه حمل و نقل در ساختار شهری متراکم با تأکید بر توسعه حمل و نقل پایدار»، تهیه شده است تا در نهایت مشخص شود که هر یک از عوامل تا به چه میزان در توسعه حمل و نقل پایدار در آمل تأثیر می‌گذارد. همان طور که در فصل پیشین گفته شد پرسشنامه در دو بخش می‌باشد، بخش اول مربوط به سؤال‌های فردی و عمومی می‌باشد و در بخش دوم سؤالات پیرامون حمل و نقل پایدار در بافت مرکزی متراکم شهر آمل می‌باشد. در طراحی سؤالات سعی بر آن بوده است که از مؤلفه‌هایی که در تحقیقات گذشتگان استفاده شده است، بهره گرفته شود و با توجه به بررسی مبانی نظری تحقیق و شناخت کلی مطالعه موردی و عوامل مؤثر بر توسعه حمل و نقل پایدار در بافت‌های متراکم شهری، سؤالات طراحی گردد. هدف اصلی این پرسشنامه جمع‌آوری اطلاعات از شهروندان جهت بررسی و سنجش حمل و نقل پایدار در مراکز و بافت متراکم شهر آمل است که با توجه به خصوصیات افراد در نظر گرفته خواهد شد.

تعیین محدوده محلات جهت توزیع پرسشنامه

با توجه به ویژگی‌های کالبدی، شبکه‌های دسترسی، بافت اجتماعی و فرهنگی نقاط مختلف شهر، محله‌بندی جهت ارزیابی هدف تحقیق صورت گرفته است، ضمن اینکه محدوده اصلی یعنی محدوده مرکزی شهر آمل همان طور که در بخش قبلی به آن پرداخته شد، تعیین شده است. شکل (۶) محدوده محلات مورد بررسی را در ۱۲ محله نشان می‌دهد:



شکل ۶ محدوده محلات پیرامون بافت مرکزی و متراکم شهر آمل

درصد افراد در غروب برای نیازمندی‌های مختلف خود به پیاده‌روی می‌پردازند.

با توجه به نمودار فوق بیش از نیمی از افراد تمایل به پیاده‌روی با مسافتی بیش از ۱۲۰۰ متر را دارند که برای شهر متوسطی مانند آمل درصد قابل ملاحظه‌ای می‌باشد.

همان‌طور که از نمودار (۹) مشخص است، با توجه به ارکان اصلی توسعه حمل و نقل پایدار بیشتر مشکلات از دیدگاه مردم به ترتیب مربوط به عدم وجود تسهیلات عابر پیاده، عدم دسترسی و اتصال بین خیابان‌ها جهت پیاده‌روی و کمبود کاربری‌های مختلط و به صورت مجتمع، عدم ارائه خدمات و سیستم مناسب حمل و نقل عمومی و تجهیزات ایمنی برای عابر پیاده اولویت‌بندی شده است.

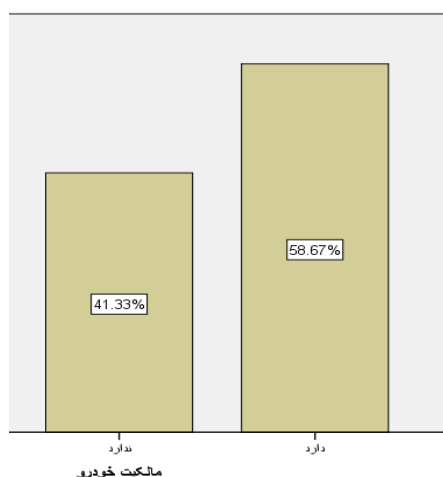
دموگرافی نمونه و نتایج پرسشنامه

مشخصات فردی. برخی از مشخصات فردی افراد که پرسشنامه‌ها به کمک آن‌ها در سطح محلات جمع‌آوری شد، نظیر سن، مالکیت خودرو، درآمد و... به صورت شکل (۷) می‌باشد.

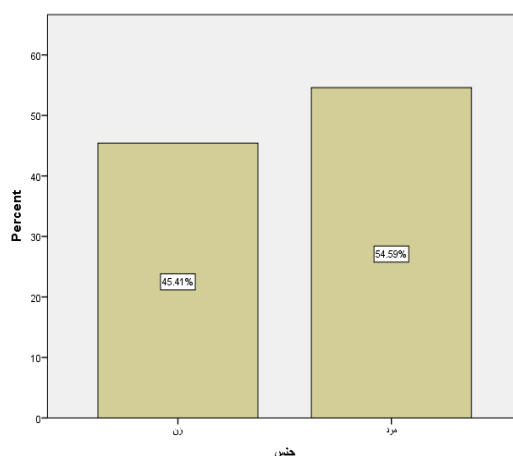
حدود نیمی از افراد شغل‌های آزاد دارند، این شغل‌ها غالباً کشاورزی، راننده، مغازه‌داری، کلیه شغل‌های خدماتی و... می‌باشند که در شهر وجود دارد.

همان‌طور که از شکل (۸) مشاهده می‌شود بیشتر سفرهایی که به صورت پیاده انجام می‌شوند، با هدف تفریحی و خرید می‌باشد، این به این دلیل است که برای انجام این نوع سفرها افراد اغلب زمان بیشتری دارند، علاوه بر برطرف کردن نیازهای خود، به پیاده‌روی مشغول می‌شوند.

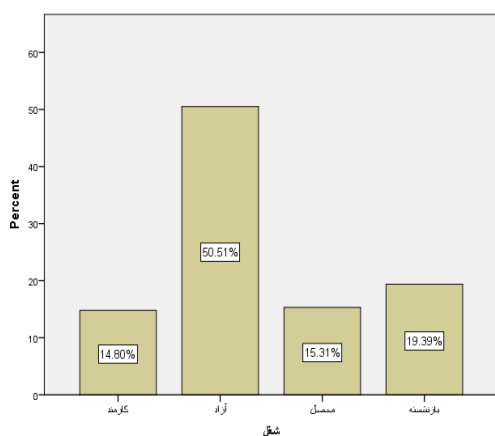
همان‌طور که از شکل (۸) مشاهده می‌شود، بیش از ۵۰



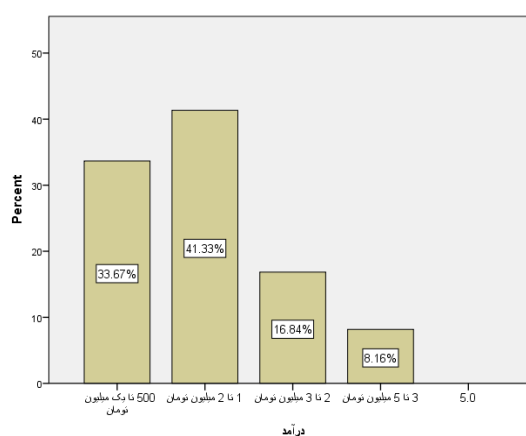
(ب)



(الف)

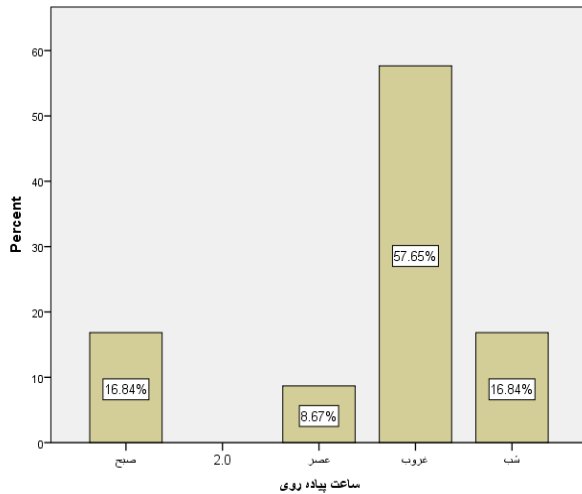


(د)

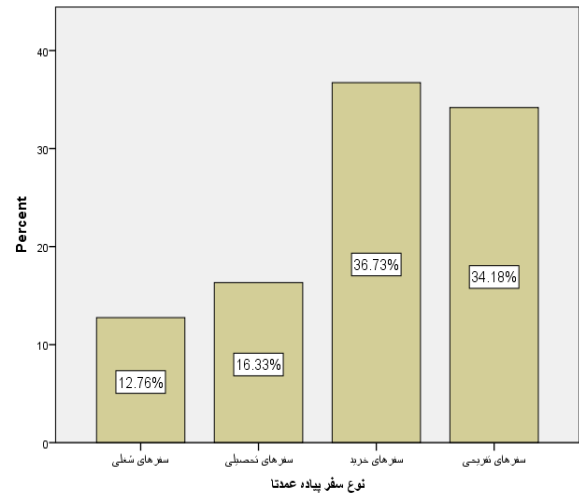


(ج)

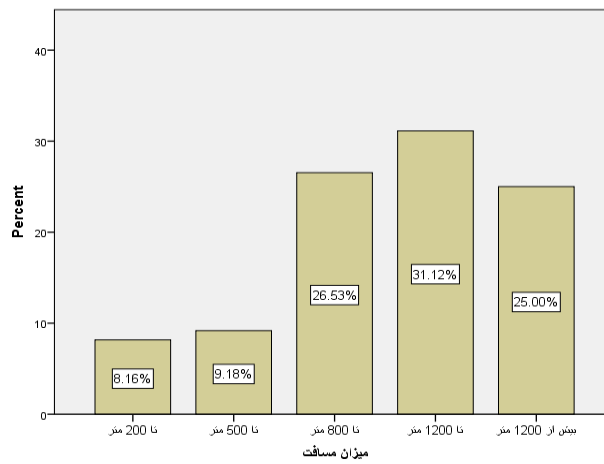
شکل ۷ نمودار درصد فراوانی: (الف) جنسیت افراد، (ب) مالکیت خودرو، (ج) رنج‌های درآمدی افراد، (د) نوع شغلی افراد



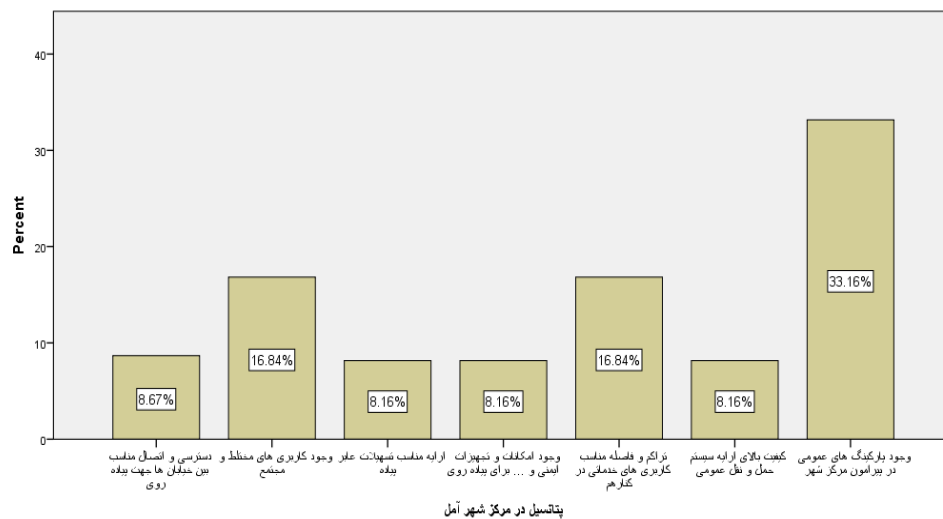
(ب)



(الف)

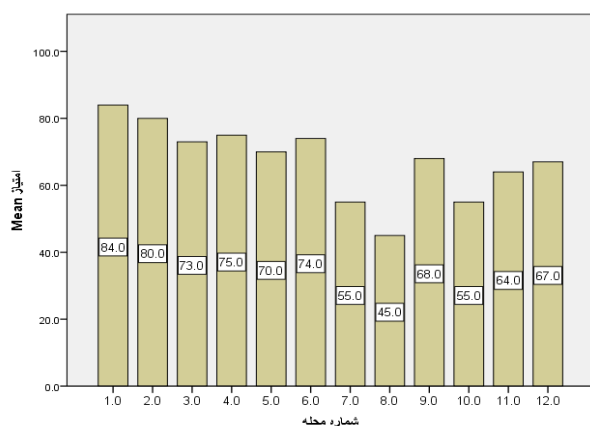


(ج)

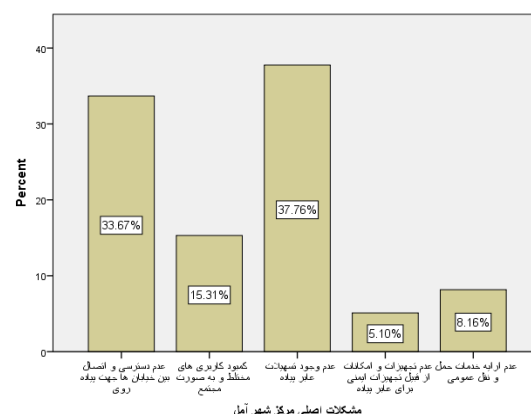


(د)

شکل ۸ درصد فراوانی: الف) نوع سفر به صورت پیاده، ب) زمان پیاده روی افراد، ج) میزان تمایل افراد به پیاده روی در نمونه آماری، د) پتانسیل های اصلی در بافت محلات مرکزی شهر آمل با تأکید بر توسعه حمل و نقل پایدار

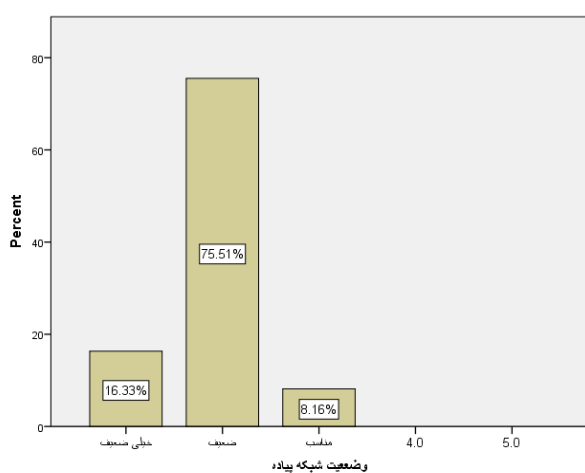


(ب)

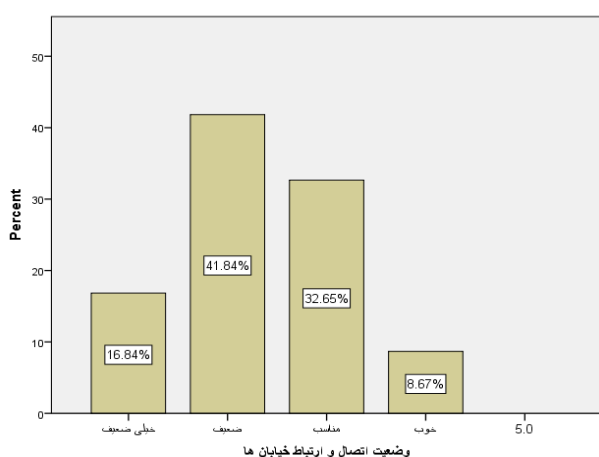


(الف)

شکل ۹ درصد فراوانی: (الف) مشکلات اصلی بافت‌های مرکزی شهر آمل با تأکید بر توسعه حمل و نقل پایدار (ب) امتیاز کلی و میانگین به ویژگی‌های حمل و نقل پایدار در محلات مرکزی و بافت متراکم شهر آمل



(الف)



(الف)

شکل ۱۰ ارزیابی متغیر (الف) وضعیت شبکه پیاده، (ب) وضعیت اتصال و ارتباط خیابان‌ها برای پیاده‌روی

بررسی برخی از پاسخ‌ها پیرامون توسعه حمل و نقل پایدار. همان‌طور که از شکل (۹) مشخص می‌شود، بیشترین پتانسیل‌ها و نقاط قوت از دیدگاه مردم با تأکید بر توسعه حمل و نقل پایدار مواردی نظیر وجود پارکینگ‌های عمومی در بافت پیرامونی مرکز شهر آمل، تراکم و فاصله مناسب کاربری‌های خدمات در کنار هم و وجود کاربری‌های مختلط و به صورت مجتمع ارزیابی و اولویت‌بندی شده‌اند. نتایج کلی و میانگین امتیازها بین ۰ تا ۱۰۰ (به عنوان متغیر وابسته در محلات) به منظور اندازه‌گیری فاکتورهای توسعه حمل و نقل پایدار در محلات مرکزی شهر آمل در نظر گرفته می‌شود به صورت زیر است.

با توجه به پاسخ افراد و تعداد نمونه جمع‌آوری شده، بافت مرکزی شهر آمل به عنوان محله شماره ۱، محله شماره ۲ و محله شماره ۴ به ترتیب بیشترین امتیاز را به خود از لحاظ ویژگی‌ها و امکانات حمل و نقل پایدار اختصاص داده‌اند و محلاتی نظیر محله شماره ۸، محله شماره ۷ و محله شماره ۱۰ به ترتیب کمترین را از لحاظ ویژگی‌های کلی حمل و نقل پایدار به خود اختصاص داده‌اند.

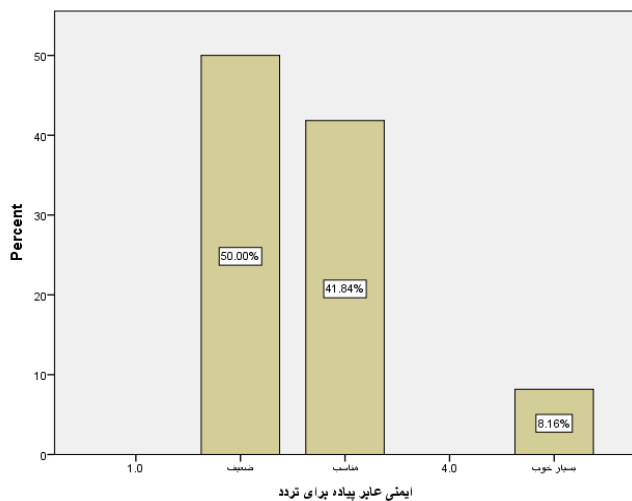
بررسی متغیر مستقل وضعیت شبکه پیاده. وضعیت شبکه پیاده اعم از پیاده‌روی خیابان‌های اصلی و کوچه‌های دسترسی در محلات مرکزی شهر آمل به طور کلی به صورت شکل (۱۰) ارزیابی شده‌اند، همان‌طور که مشخص است به طور کلی در ۱۲ محله مشخص شده، حدود ۷۵ درصد وضعیت شبکه پیاده را ضعیف ارزیابی نموده‌اند:

با توجه به ارزیابی افراد در این متغیر به طور کلی نشان دهنده آن است که تنها حدود ۴۰ درصد افراد از ارتباط و کانکتیویتی شبکه معابر جهت دسترسی پیاده رضایت دارند.

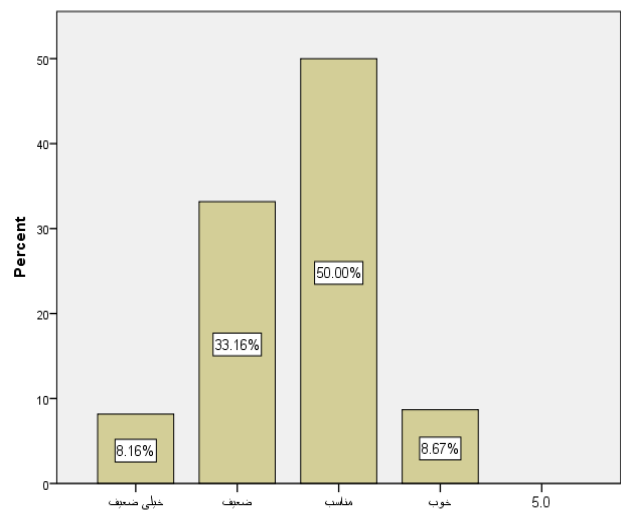
شکل (۱۱) این را نشان می‌دهد که حدود ۶۰ درصد از افراد از ارائه سیستم حمل و نقل عمومی به طور کلی در ۱۲ محله تعیین شده از کیفیت ارائه سیستم حمل و نقل عمومی اعم از تاکسی و اعم از اتوبوس رضایت دارند.

با توجه به شکل (۱۱-ب) حدود ۵۰ درصد این متغیر را

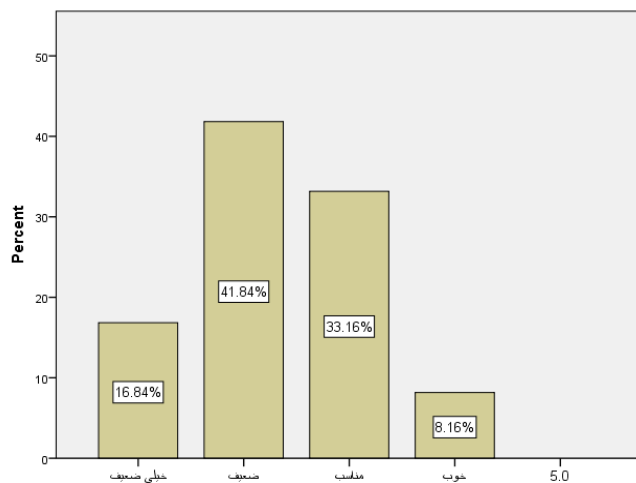
ضعیف ارزیابی نموده‌اند. با توجه به شکل (۱۱-ج) حدود ۶۰ درصد از افراد، از وضعیت عرض پیاده‌روها در کل محلات مورد بررسی ناراضی هستند. حدود نیمی از افراد وضعیت دوچرخه‌سواری و استفاده از آن را مناسب ارزیابی نموده‌اند و حدود ۴۰ درصد نیز رضایت کافی را ندارند که درصد قابل ملاحظه‌ای است. حدود ۶۶ درصد از افراد وضعیت ارائه تسهیلات پارکینگ را مناسب و خوب ارزیابی نموده‌اند و حدود ۳۴ درصد ضعیف اعلام نمودند.



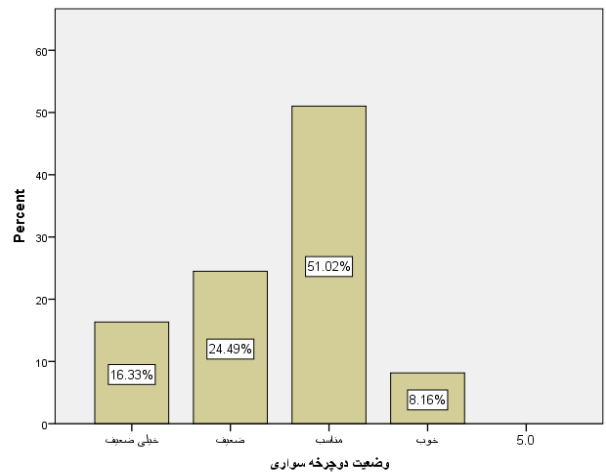
(ب)



(الف)



(د)



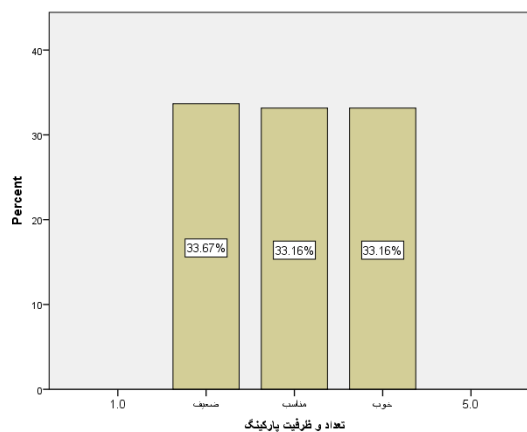
(ج)

شکل ۱۱ ارزیابی متغیر: الف) کیفیت ارائه سیستم حمل و نقل عمومی، ب) ایمنی عابر پیاده برای تردد، ج) وضعیت عرض پیاده‌روها،

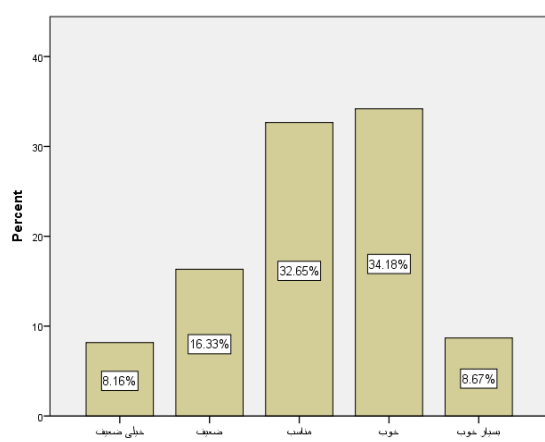
د) وضعیت دوچرخه‌سواری



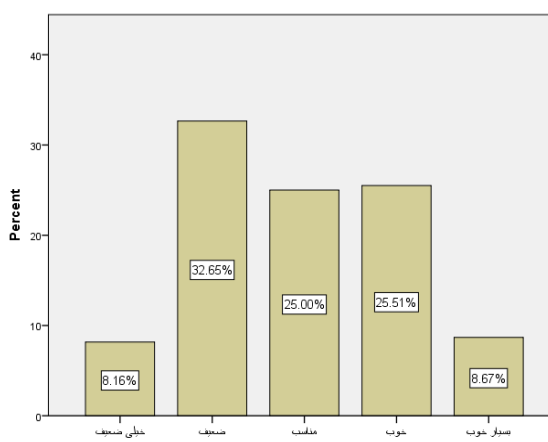
(ب)



(الف)



(د)



(ج)

شکل ۱۲ ارزیابی متغیر (الف) وضعیت ارائه تسهیلات پارکینگ، (ب) متغیر نفوذپذیری بلوک و دسترسی به کاربری‌های مختلف، (ج) شدت و تراکم ساختمانی، (د) وجود کاربری‌های مختلط و کاربری‌های به صورت مجتمع ۵۰ درصد از افراد در کل محدوده‌های تعیین شده جهت ارزیابی کیفیت

تا خیلی خوب ارزیابی نموده‌اند، که رضایت قابل ملاحظه افراد را نشان می‌دهد.

مدل‌سازی آماری

پس از بررسی ویژگی‌های فردی پرسشنامه‌ها جهت شناخت اطلاعات کلی و ارزیابی متغیر وابسته و متغیرهای مستقل توسط افراد در بخش قبلی، حال به مدل‌سازی آماری (تحلیل رگرسیون) پرداخته خواهد شد. با توجه به نتایج مدل متغیر وابسته یعنی همان امتیازی که از مشاهدات به منظور اندازه‌گیری ویژگی‌های حمل و نقل پایدار در سطح محلات مرکزی شهر آمل نتیجه شده است، مدلی وابسته به متغیرهای مستقل که ۱۰ مورد می‌باشند و مربوط به شبکه حمل و نقل و کاربری‌ها می‌باشد، ارائه خواهد

ویژگی‌های حمل و نقل پایدار، نفوذپذیری محلات و دسترسی به کاربری‌های مختلف را با استفاده از مدهای پایدار از مناسب تا خیلی خوب ارزیابی نموده‌اند. ۶۰ درصد از افراد در کل محدوده‌های تعیین شده جهت ارزیابی کیفیت ویژگی‌های حمل و نقل پایدار، شدت و تراکم ساختمانی را از مناسب تا خیلی خوب ارزیابی نموده‌اند، که رضایت افراد را نشان می‌دهد. ۶۰ درصد از افراد در کل محدوده‌های تعیین شده جهت ارزیابی کیفیت ویژگی‌های حمل و نقل پایدار، شدت و تراکم ساختمانی را از مناسب تا خیلی خوب ارزیابی نموده‌اند، که رضایت افراد را نشان می‌دهد. ۷۵ درصد از افراد در کل محدوده‌های تعیین شده جهت ارزیابی کیفیت ویژگی‌های حمل و نقل پایدار وجود کاربری‌های مختلط و کاربری‌های به صورت مجتمع را از مناسب

شد. جدول (۲) اطلاعات کلی مدل شامل مقدار R و مربع آن است که نسبت تغییرپذیری مقادیر y را که می‌تواند توسط خط برازش شده بیان شود، اندازه می‌گیرد. آماره مربع R نیز در واقع ضریب تعیین درصد تغییرپذیری کل به علت رگرسیون روی x است. آماره‌های بعدی مربع R تصحیح شده که نشان می‌دهد چه مقدار از کل واریانس متغیر وابسته توسط متغیرهای مستقل توجیه می‌شود که با توجه به مقدار ۰٫۷۲۳، میزان آن قابل قبول است، در واقع این عدد انحراف معیار باقی‌مانده‌های مدل است و با توجه به اینکه مقدار آن بالای ۰٫۷ است قابل قبول می‌باشد و مناسب است. عدد دوربین و اتسون با میزان ۲٫۱۵۷ (میزان مناسب بین ۱٫۵ تا ۲٫۵) نشان دهنده این است که متغیرهای این مدل مستقل از یکدیگر می‌باشند.

همچنین جدول (۳) تجزیه واریانس رگرسیون را نشان می‌دهد که با توجه به مقدار sig این مدل دارای معنی‌داری است و مقدار F (نسبت میانگین رگرسیون نسبت به میانگین باقی مانده-ها) برابر ۴۸,۶۹۹ می‌باشد که بسیار مناسب است. جدول (۴) اطلاعات مدل رگرسیون برای متغیرهای مستقل را نشان می‌دهد. با توجه به جدول فوق، متغیرهای مستقل مرتبط با شبکه و سیستم حمل و نقل نظیر ۱) وضعیت شبکه پیاده از نظر کیفیت جداره و

طراحی جذاب برای عابران، (۲) ایمنی عابر پیاده برای تردد، (۳) وضعیت دوچرخه‌سواری و کیفیت استفاده از آن دارای سطح معناداری مناسب ($\text{sig} < 0.05$) می‌باشند و در مدل تأثیر گذار هستند. همچنین متغیرهای مستقل مربوط به کاربری‌ها که در اندازه‌گیری کیفیت حمل و نقل پایدار در بافت‌های مرکزی شهر آمل تأثیرگذار هستند عبارت اند از (۱) شدت و تراکم ساختمانی و (۲) وجود کاربری‌های مختلط و به صورت مجتمع در توصیف و تحلیل مدل فوق با توجه به ضرایب B که برای دو متغیر معنادار حوزه حمل و نقل منفی است و برای تمامی متغیرهای حوزه کاربری مثبت است. پس می‌توان نتیجه گرفت که محلات تعیین شده، به طور کلی دارای وضعیت مناسبی در رابطه با شاخص‌های شبکه حمل و نقل پایدار نیستند و افراد در این حوزه و نظام رضایت کافی ندارند، اما در حوزه کاربری (تراکم و وجود کاربری‌های مختلط)، با توجه به بافت محلات دارای رضایت نسبی می‌باشند، لذا باید در حوزه حمل و نقل پایدار بیشتر بر روی توسعه در خصوص دو متغیر فوق تمرکز داشت. همچنین در نقشه شکل (۱۲) مدل پیشنهادی اندازه‌گیری میزان برخورداری از حمل و نقل پایدار را در محلات شهر آمل بر اساس داده‌های وضع موجود در دو حوزه حمل و نقل و کاربری نشان می‌دهد.

جدول ۲ اطلاعات کلی مدل

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics					Durbin Watson
					R Square Change	F Change	Df1	Df2	Sig. F Change	
1	0.850 ^a	0.723	0.708	6.4259	0.723	48.194	10	185	0.000	2.157

- a. **Predictors (Constant)** وضعیت ارتباط خیابان ها، وضعیت اتصال و ظرفیت پارکینگ، تعداد و تردد، ایمنی عابر پیاده برای تردد، اختلاط کاربری ها، ایمنی عابر پیاده برای تردد، وضعیت اتصال و ارتباط خیابان ها، وضعیت ایمنی عابر پیاده، وضعیت تعداد ایستگاه حمل و نقل عمومی، وضعیت دوچرخه سواری، وضعیت عرض پیاده روها، نفوذ پذیری بلوک و دسترسی به کاربری های مختلف، شدت و تراکم ساختمانی
- b. **Dependent Variable:** امتناز

جدول ۳ تجزیه و تحلیل واریانس مد

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics					Durbin Watson
					R Square Change	F Change	Df1	Df2	Sig. F Change	
1	0.850 ^a	0.723	0.708	6.4259	0.723	48.194	10	185	0.000	2.157

- | | |
|----|---|
| a. | Predictors (Constant) وضعیت ارتباط خیابان ها، وضعیت اتصال و ظرفیت پارکینگ، ایمنی عابر پیاده برای تردد، تعداد و وضعیت استفاده از تاکسی، وضعیت ایستگاه حمل و نقل عمومی، وضعیت دوچرخه سواری، وضعیت عرض پیاده روها، نفوذ پذیری بلوک و دسترسی به شبکه پیاده، وضعیت تعداد ایستگاه حمل و نقل عمومی، وضعیت دوچرخه سواری، وضعیت عرض پیاده روها، نفوذ پذیری بلوک و دسترسی به کاربری های مختلف، شدت و تراکم ساختمانی |
| b. | Dependent Variable: امتناز |

Model	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig
Regression	19900.545	10	1990.054	48.194	0.000b
Residual	7639.129	185	41.293		
Total	27539.673	195			

-
- نتایج مدل پیشنهادی
- | |
|-------------|
| 44.9 |
| 45.0 - 58.1 |
| 58.2 - 68.7 |
| 68.8 - 75.1 |
| 75.2 - 83.9 |
- شبكة راه ها

کیفیت ویژگی های حمل و نقل پایدار وجود کاربری های مختلط و کاربری های به صورت مجتمع را از مناسب تا خیلی خوب ارزیابی نموده اند.

متغیرهای مستقل مرتبط با شبکه و سیستم حمل و نقل نظیر:

۱. وضعیت شبکه پیاده از نظر کیفیت جداره و طراحی جذاب برای عابرین: در حدود ۶۰ درصد از افراد، از وضعیت عرض پیاده روها در کل محلات مورد بررسی ناراضی هستند.
۲. ایمنی عابر پیاده برای تردد: در حدود ۵۰ درصد این متغیر را ضعیف ارزیابی نموده اند.
۳. وضعیت دوچرخه سواری و کیفیت استفاده از آن دارای سطح معناداری مناسب ($\text{sig} < 0.05$) می باشد. حدود نیمی از افراد وضعیت دوچرخه سواری و استفاده از آن را مناسب ارزیابی نموده اند و حدود ۴۰ درصد نیز رضایت کافی را ندارند.

در این تحقیق، به ارزیابی مناطق از بافت‌های شهری پرداخته

نشریه مهندسی، عمران فردوسی،

ارزیابی کیفیت ویژگی‌های حمل و نقل پایدار وجود کاربری-های مختلط و کاربری‌های به صورت مجتمع را از مناسب تا خیلی خوب ارزیابی نموده‌اند، که رضایت قابل ملاحظه افراد را نشان می‌دهد.

در نتیجه‌گیری کلی از تحقیق با توجه به ضرایب مدل پیشنهادی، می‌توان نتیجه گرفت که افراد در حوزه شبکه و سیستم حمل و نقل رضایت کافی ندارند، اما در حوزه کاربری (تراکم و وجود کاربری‌های مختلط)، با توجه به بافت محلات دارای رضایت نسبی می‌باشند، لذا باید در حوزه حمل و نقل پایدار بیشتر بر روی توسعه در خصوص دو متغیر مربوط به شبکه و کیفیت سیستم حمل و نقل (شامل وضعیت شبکه پیاده از نظر کیفیت جداره و طراحی جذاب برای عابرین، وضعیت دوچرخه سواری)، داشت.

با توجه به نتایج می‌توان دریافت که روند توسعه حمل و نقل پایدار از مرکز شهر آمل به بیرون- که هرچه به جداره پیرامونی می‌رسد کیفیت آن تضعیف می‌گردد- ناشی از آن است که شهر آمل به صورت تک هسته‌ای است و تراکم و وجود کاربری‌های مختلف بیشتر در یک هسته متمرکز است، بنابراین هرچند از لحاظ کاربری زمین باعث توسعه حمل و نقل پایدار شده است، اما از لحاظ ویژگی‌های ارتباطی و سیستم حمل و نقل باعث ازدحام در این مناطق شده است که پیشنهاد می‌شود، این نوع شهر از حالت تک هسته‌ای به چند هسته مبدل شوند تا ضمن ارائه خدمات و کاربری‌های مختلف و مختلط در محلات پیرامونی باعث کاهش ازدحام و توسعه ویژگی‌های مربوط به شبکه و سیستم حمل و نقل نظیر افزایش ایمنی عابر پیاده، کاهش تداخلات حرکت سواره با پیاده، امکان استفاده از دوچرخه، دسترسی و افزایش کیفیت افراد به خدمات به صورت پیاده و ... شود.

واژه نامه

توسعه مبتنی بر حمل و نقل عمومی

Transit-oriented development

Green open space

هزینه فضای باز

Light rail transit

حمل و نقل ریلی سبک

سیستم اطلاعات جغرافیایی

Geographical information system

شبکه هوشمند عابر پیاده

شد که با توجه به معیارهای کاربری‌ها و ویژگی‌های شبکه حمل و نقل می‌تواند در پایداری حمل و نقل و جابجایی افراد، توسعه ایجاد کند. بدین منظور در این تحقیق ابتدا به شناخت ویژگی‌های مربوط به حمل و نقل پایدار در دو نظام کاربری‌های شهری و شبکه حمل و نقل در شهر آمل با استفاده از پرسشنامه، بررسی-های میدانی و اطلاعات اخذ شده در طرح‌های قبلی پرداخته شد، سپس با استفاده از مدل سازی آماری رگرسیون بر اساس مشاهدات پرسشنامه، متغیر وابسته یعنی اندازه گیری کیفیت ویژگی‌های حمل و نقل پایدار در محلات مختلف (در ۱۲ محله تعیین شده) وابسته به متغیرهای مستقل مرتبط با سیستم حمل و نقل و کاربری زمین اندازه گیری شد. بدین منظور در راستای پژوهش نیز به شناخت عواملی که باعث افزایش دسترسی و کاهش جابجایی با وسایل نقلیه و رشد هوشمند شهرها می‌شود (نظیر کاربری‌های مختلط، تراکم بالا و ...)، پرداخته شد. همچنین شناخت و تعیین متغیرهای مستقل در توسعه حمل و نقل پایدار در دو نظام کالبد کاربری‌ها و ویژگی‌های شبکه حمل و نقل در مناطق متراکم صورت پذیرفت. در ادامه سطح معناداری و میزان تاثیر شاخص‌ها در حمل و نقل پایدار در بافت‌های متراکم تعیین گردید و در نهایت مدل‌سازی آماری بین متغیرها و پیشنهاد الگو جهت توسعه حمل و نقل پایدار در محلات پس از سنجش و ارزیابی امتیاز آن نیز انجام پذیرفت.

۱. ۵۰ درصد از افراد در کل محدوده‌های تعیین شده جهت ارزیابی کیفیت ویژگی‌های حمل و نقل پایدار، نفوذپذیری محلات و دسترسی به کاربری‌های مختلف را با استفاده از مدهای پایدار از مناسب تا خیلی خوب ارزیابی نموده‌اند.

۲. ۶۰ درصد از افراد در کل محدوده‌های تعیین شده جهت ارزیابی کیفیت ویژگی‌های حمل و نقل پایدار، شدت و تراکم ساختمانی را از مناسب تا خیلی خوب ارزیابی نموده‌اند، که رضایت افراد را نشان می‌دهد.

۳. ۶۰ درصد از افراد در کل محدوده‌های تعیین شده جهت ارزیابی کیفیت ویژگی‌های حمل و نقل پایدار، شدت و تراکم ساختمانی را از مناسب تا خیلی خوب ارزیابی نموده‌اند، که رضایت افراد را نشان می‌دهد.

۴. ۷۵ درصد از افراد در کل محدوده‌های تعیین شده جهت

سپاسگزاری

Pedestrian smart network

شبکه هوشمند عابر پیاده

Central business district

مرکز تجاری شهر

مراجع

- [1] S.E. Abdolmanafi Rokni, T. Vedadi, S. A. Saadatjoo, S. Fatemi and S. A. Ziaee, "Modeling pedestrian flow in urban pedestrian facilities using meta-heuristic algorithms Case study: Rasht city", *Ferdowsi Civil Engineering*, vol. 34, no. 4, pp. 45-54, (2021). (In Persian) <https://doi.org/10.22067/jfcei.2022.73898.1088>
- [2] I. Bargegol, M. Rahmaninezhad Asil, S. Fatemi and S. A. Saadatjoo "Discovering the Factors Affecting the Severity of Heavy Vehicle Crashes on Rural Roads Using Logit Regression", *Ferdowsi Civil Engineering*, vol. 35, no. 2, pp. 75-86, (2022). (In Persian) <https://doi.org/10.22067/jfcei.2022.73927.1093>
- [3] F. Russo, A. Comi, "The Simulation of Shopping Trips at Urban Scale: Attraction Macro-Model", *Social and Behavioral Sciences*, vol. 39, pp. 387 – 399, (2012). <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.03.116>
- [4] Moslehi, Pejman, "Evaluation of behavioral stations in the urban environment in relation to citizenship behaviors", Conference between Civil Engineering, Architecture and Urban Development Management in Iran, Tehran. (In Persian)
- [5] M. Sedigh bavar, A. Naderan and M. Saffarzadeh, "Evaluating the Spatial Impacts of Environmental Factors on the Frequency of Urban Crashes using the Spatial Bayes Method based on Euclidean Distance and Contiguity", *Ferdowsi Civil Engineering*, vol. 36, no. 2, pp. 1-20, (2023). (In Persian) <https://doi.org/10.22067/jfcei.2023.80940.1213>
- [6] D. Berrigan, L. W. Pickle and J. Dill, "Associations between street connectivity and active transportation", *International Journal of Health Geographics*, vol. 9, (2010). <https://doi.org/10.1186/1476-072X-9-20>
- [7] Z. Sahraiean, A. Zangabadi, F. Khosravi, "Spatial Analysis and site selection of health medical and hospital centers using GIS(case study:Jahrom city)", *Geogr Space*, vol. 43, no. 13, pp. 153-170, (2011).
- [8] R. J. Schneider, K. Shafizade and S. L. handy, "Methodology to Gather Multimodal Trip Generation Data in Smart-Growth Areas", *Transportation Research Board*, vol. 2354, no. 1, (2012). <https://doi.org/10.3141/2354-08>
- [9] M. Ahmadinejad, Sh. Afandizadehand S. M. Yadi Hamedani, S. (2012). An Innovative Methodology to Extend Intervening Opportunity Model for Predicting Home-based Shopping Trips. *Ferdowsi Civil Engineering*, vol. 24, no. 1, pp. 45-58, (2012).(In Persian) <https://doi.org/10.22067/civil.v24i1.22003>
- [10] M. Ameri, H. Bigdeli rad, H. Shaker and A. Ameri, "Predicting Traffic Safety Using PSO-SVM Method and Back Propagation Neural Network", *Ferdowsi Civil Engineering*, vol. 34, no. 4, pp. 1-14, (2021). (In Persian) <https://doi.org/10.22067/jfcei.2022.73920.1092>
- [11] sedigh bavar,A. Naderan, M. Saffarzadeh, M, "The spatial effect of the contribution of land use types in the occurrence of accidents based on traffic area zones Case study: Shiraz metropolis", *Ferdowsi Civil Engineering*, vol. 36, no. 3, pp. 1-16, (2023). (In Persian) <https://doi.org/10.22067/jfcei.2023.80945.1214>
- [12] Litman, T. (2003) "Measuring transportation: traffic, mobility and accessibility", *ITE Journal*, Vol. 73, No. 10, pp. 28-3, (2009).
- [13] United Nations Department of Public Information, "Agenda 21: Programme of Action for Sustainable Development,

- Rio Declaration on Environment and Development, Statement of Forest Principles; the final text of agreements”, United Nations, (1992).
- [14] R. Ahmadian, V. Saeedian, “The impact of transportation on urban uses with a sustainable development approach”, *8th Transportation and Traffic Engineering Conference of Iran*, (2008). (In Persian)
- [15] M. Refayan, A. Pour Jafar, A. Taqvai and A. Sadeghi, "Presenting the process of urban design of local communities with an emphasis on the (transportation-oriented development)", *journal of urban studies*- vol. 6, no. 92, Pp.59-74, (2013). (In persian)
- [16] C. Lee, A. V. Moudon, “The 3Ds + R: Quantifying land use and urban form correlates of walking”, *Transport and Environment*, vol. 11, no. 3, pp. 204-215, (2006). <https://doi.org/10.1016/j.trd.2006.02.003>
- [17] F. Scorza, F. Giovanni, "Active mobility-oriented urban development: a morpho-syntactic scenario for a mid-sized town", *European Planning Studies*, vol. 32, no. 2, pp. 320-344, (2024). <https://doi.org/10.1080/09654313.2022.2077094>
- [18] H. Hayati Sari, M. Mulyani, "Transit-oriented development: towards achieving sustainable transport and urban development in jakarta metropolitan, Indonesia", *Sustainability*, vol. 14, no. 9, pp. 52-44, (2022). <https://doi.org/10.3390/su14095244>
- [19] A. Mobaraki, O. V. Beser, "A conceptual model for assessing the relationship between urban morphology and sustainable urban form." *Sustainability*. Vol.14, No. 5, pp. 2884, (2022). <https://doi.org/10.3390/su14052884>
- [20] N. Epicoco, F. Marco, "Decision support tools for developing sustainable transportation systems in the EU: A review of research needs, barriers, and trends", *Research in Transportation Business & Management*. Vol.43, pp. 100819,(2022). <https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2022.100819>
- [21] G. Domenico, G. C. Cassone and M. Malara, "Experimental models of pedestrian flows as support to design new sustainable paths in urban context", *Transportation research procedia*, vol.60, pp.188-195, (2022). <https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2022.100819>
- [22] M. Mahdavi, A. Tawaklan, “land use analysis of Amol city”, *scientific-research*, vol.6, no.4, (2008).



Ferdowsi Civil Engineering

<https://civil-ferdowsi.um.ac.ir>



**Iranian
Concrete
Institute**



**Pavement
Engineering
Association of Iran**

Determination of the Optimal Position of Cables in Guyed Masts Using Meta-Heuristic Algorithms

Research Article

Houshyar Eimani Kalehsar¹ , Amirreza Esmaeile Aghdam²

DOI: [10.22067/jfcej.2024.75849.1131](https://doi.org/10.22067/jfcej.2024.75849.1131)

1- Introduction

Today, for telecommunication purposes, prestressed guyed towers have become more common than other self-supporting towers. The use of prestressed cables in engineering structures has gained significant popularity. Some examples are industrial unit chimneys, transmission towers, wind turbines, and building retrofits. Guyed masts are telecommunication towers equipped with guy wires, which are tensioned cables used to stabilize the tower. The guyed mast is acknowledged as a slender structure with highly non-linear geometrical behavior.

An early study used a simple method of analyzing guyed masts. The cable angle was assumed constant at 45 degrees in the work of Bell et al., and optimization variables were cable diameter, cable prestressing force, and vertical and diagonal member cross-sections. Other studies in the field of guyed masts investigated the dynamic behavior of guyed masts with prestressed cables under lateral forces, the effects of prestressed values, and proposed relationships to estimate the frequency values of structures.

In the research of Saudi et al., the natural frequencies were identified by measuring the ambient response of a full-scale guyed mast. Subsequently, a detailed 3D finite element model was created to replicate the measured dynamic characteristics. Structural parameters were adjusted to generate the global modes that corresponded to the peaks identified in the spectral analysis. According to the research results, as the weight of the antenna increases, the frequency values of the guyed masts decrease. In 2003, a case study of a full-scale model was conducted using analytical and experimental methods at a height of 50 meters. The study aimed to record the forces generated by wind on the guyed mast structure.

In a similar study, Luzardo et al. examined the effects of the initial tension of guys in a range of 5%-20% of the breaking load, and changes in the fundamental period of the mast and the values of the displacement of the guyed,

the axial forces. According to the results of the research, increments of the prestressing force of the cables caused an increase in the natural frequency of the structure.

The main objective of the current study was to obtain a design that would maximize the frequency of the Guyed masts. Meta-heuristic algorithms are applied in optimization problems in a variety of fields, including engineering, economics, and computer science. In this paper, three population-based meta-heuristic algorithms are employed for frequency optimization of Guyed masts. These algorithms consist of the Genetic Algorithm (GA), Firefly Algorithm (FA), and Particle Swarm Optimization Algorithm (PSO) aimed to maximize the natural frequencies of Guyed masts while satisfying their constraints. The study on optimizing the position of the cable anchorages along the pole of a guyed tower using algorithms demonstrates that the optimal values for these angles are approximately 35 degrees without pretension forces in the guys. Additionally, the optimum cable angle is 75 degrees when subjected to prestressed guy cables.

Keywords: Guyed mast, Genetic algorithm, Firefly Algorithm, Particle Swarm Algorithm, Optimization

2-Problem Statement

The methodology of the present work aimed to maximize the frequency of the Guyed masts by utilizing a combined approach of a relaxed penalized objective function formulation and structural analysis of Guyed masts.

In this study, the cable angle with the horizon and the position of the prestressed cable anchorages along the pole of a guyed tower are defined as design variables. The use of optimization algorithms with tens of design parameters involves analyzing the mast structure and calculating the objective function numerous times.

3- Numerical Examples and Discussion

Example 1

Comparing the vibrational frequency responses of the

*Manuscript received April 5, 2022, Revised June 12, 2024, Accepted October 7, 2024.

¹ Corresponding author. Associate Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Mohaghegh Ardabil, Iran. **Email:** hek@uma.ac.ir

² Ph.D. Student, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

system assuming the rigidity of the mast structure and also considering that the cable behavior is modeled with an ideal spring and sufficient pre-tension. According to Figure 1, the schematic model of the guyed mast with prestressed cables is considered as one-degree-of-freedom system. Each prestressed cable consists of two variables: angle and vertical connection position of the cable at the height of mast.

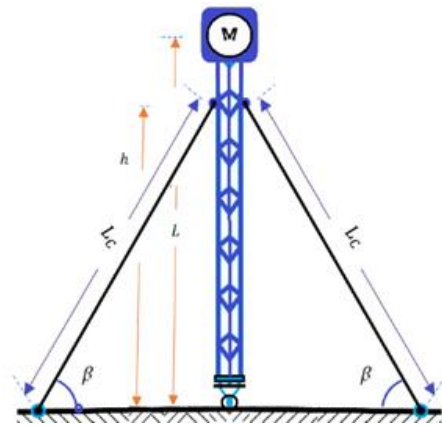


Figure 1. Scheme of the guyed mast with prestressed cables

Example 1 has been solved under two conditions: the cable is modeled by two-ideal-spring and ideal spring by removing the compressive cable. It can be seen from the results found out by meta-heuristic algorithms and analysis solutions that the optimum angle is 35 degree. This paper, considering the influence of pre-tension force of cables, took the lateral stiffness of the spring from reference number 22. Under the guy cables with pre-tension force, the optimal angle for cable arrangement is 75 degrees.

Example 2

In this example, a guyed mast with 36.5 m height was considered. The frequency of the structure and the optimum angle of cables could be determined by varying the number of prestressed cables, which ranged from 2 to 12 at the height of the guyed structure.

Example 3

In this section, the variation in the guyed mast frequency in relation to the guyed height variation from 60 m up to 400 m was investigated. The number of cables was determined by dividing the height of the mast by 15 m. Prestressed force of cables was about 10% of the breaking strength of the cable, and the diameter of the clusters of guys was also 30 mm. The weight of the antenna at top of the guyed mast was 100 kg, and unit weight of the guyed structure was 25 kg per unit length. In this part, the optimal cable angle was 75 degrees.

Example 4

Investigating the variation in the unit mass of guyed masts and the weight of antennas on top of the mast is crucial for

optimizing the design and ensuring structural stability. The present study indicated that as the initial unit mass of the guyed mast increases, the fundamental frequency of the structure decreases. This implies that heavier weights or masses attached to the mast result in lower natural frequencies in concern to the dynamic properties of the guyed mast. The observation suggests that increasing the concentrated mass of the antenna does not significantly affect the frequency characteristics of the structure.

Example 5

The guyed mast frequency changes in Example 1 can be examined by analyzing variations in the pre-tension force of cables and considering two modes: when the cables are loaded (weight of the cable) and unloaded (lack of weight). The frequency of the structure increases when the pre-tension force is increased and the weight of the cables is considered. The range of prestressing forces can vary significantly, typically falling between 1% to 95% of the breaking load of the cable.

4- Conclusions

In this study, the optimization of the cable angle on a guyed mast was investigated using three different optimization techniques: GA, FA, and PSO.

The results are summarized as follows:

1. The recommended optimal angle for the cables is 75 degrees in relation to the horizon.
2. Increase in the number of cables in the guyed mast leads to a higher level of structural stiffness, resulting in a rise in the vibrational frequency values.
3. The optimal values for cables angle are approximately 35 degrees without pretension forces in the guys. Additionally, the optimum cable angle is 75 degrees when subjected to prestressed guy cables.
4. The most cost-effective method to enhance the natural frequency of the guyed mast structure is reducing the unit weight of the guyed.
5. With an increase in the prestressed cable force values, the process of increasing the frequency of the cable mast is significant. Raising the prestressed cable force by four times results in approximately a doubling of the frequency of the guyed mast structure.



تعیین موقعیت بهینه کابل‌ها در دکل‌های مهاری با استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری*

مقاله پژوهشی

امیررضا اسمعیلی اقدم^(۲) هوشیار ایمانی کله سر^(۱)

DOI: 10.22067/jfpei.2024.75849.1131

چکیده دکل‌های مهاری از جمله سازه‌های بلند و لاغر هستند که استفاده گسترده‌ای در انواع مقاصد مخابراتی دارند. این سازه‌ها شامل یک دکل عمودی هستند که به صورت جانبی در چندین تراز ارتفاعی از طریق کابل‌های پیش‌تنبیده مهاری می‌شوند. پر واضح است که فرکانس طبیعی ارتعاش، از عوامل اصلی اثرگذار در رفتار دینامیکی سازه‌ها بوده و بهینه‌سازی فرکانس طبیعی دکل‌های مهاری شده از موضوعات مهم در مهندسی سازه می‌باشد. هدف اصلی در این پژوهش، دستیابی به طرحی به منظور افزایش فرکانس ارتعاش طبیعی سیستم است. الگوریتم‌های فراابتکاری در بسیاری از مسائل بهینه‌سازی و در حوزه‌های مختلف شامل مهندسی، اقتصاد و علوم کامپیوتری کاربرد داشته و در این پژوهش از سه الگوریتم فراابتکاری جهت بهینه‌سازی فرکانس دکل‌های مهاری استفاده می‌شود. الگوریتم‌ها شامل الگوریتم ژنتیک، کرم شب‌تاب و ازدحام ذرات بوده که با تابع هدف در راستای افزایش فرکانس ارتعاشی سیستم تعریف می‌شوند. در این تحقیق، طرح بهینه زوایای کابل‌های مهاری توسط الگوریتم‌ها نشان داد که مقادیر بهینه زوایای کابل‌های مهاری در شرایط بدون لحاظ نیروی پیش‌تندگی در حدود ۳۵ درجه می‌باشد. همچنین با لحاظ نیروی پیش‌تندگی زاویه کابل‌ها ۷۵ درجه نسبت به افق می‌شوند.

واژه‌های کلیدی دکل مخابراتی، الگوریتم ژنتیک، کرم شب‌تاب، الگوریتم ازدحام ذرات، بهینه‌سازی.

Determination of Optimal Position of Cables in Guyed Masts by Using Meta-Heuristic Algorithms

Houshyar Eimani Kalehsar

Amirreza Esmaeile Aghdam

Abstract Guyed masts are slender, tall structures widely used to support various types of antennas in the field of telecommunications. These structures consist of a tall vertical mast laterally supported at several levels along its height by sets of inclined pre-tensioned cables. It is well known that natural frequencies are fundamental parameters that affect the dynamic behavior of structures. Optimizing natural frequencies of Guyed masts is an important issue in structural engineering. The main objective of this study presented in this paper is to obtain a design that will maximize the frequency of the Guyed masts. Meta-heuristic algorithms are applied in optimization problems in a variety of fields, including engineering, economics, and computer science. In this paper, three population-based meta-heuristic algorithms are employed for frequency optimization of Guyed masts. These algorithms consist of the Genetic Algorithm (GA), Firefly Algorithm (FA) and Particle Swarm Optimization Algorithm (PSO) aims to maximize the natural frequencies of Guyed masts while satisfying their constraints. The study on optimizing the position of the cable anchorages along the pole of a guyed tower using algorithms demonstrates that the optimal values for these angles are approximately 35 degrees without pretension forces in the guys. Additionally, the optimum cable angle is 75 degrees when subjected to prestressed guy cables.

Key words Guyed mast, Genetic algorithm, Firefly Algorithm, Particle Swarm Algorithm, Optimization.

* تاریخ دریافت مقاله ۱۴۰۱/۱/۱۶ و تاریخ پذیرش آن ۱۴۰۳/۷/۱۷ می‌باشد.

Email: hek@uma.ac.ir

(۱) نویسنده مسئول، دانشیار، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

(۲) دانشجوی دکتری، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

مقدمه و تاریخچه تحقیقات

امروزه برای مقاصد مخابراتی، دکل‌های مهار شده با کابل پیش‌تنیده نسبت به سایر دکل‌های خود ایستا رواج بیشتری پیدا کرده است. دکل‌های مهار شده، به دلیل وزن پایین و هزینه ساخت کمتر با ارتفاعات کوتاه و بلند برای نواحی شهری و خارج از شهر در فضاهایی با زمین کافی مورد استفاده قرار می‌گیرند. استفاده از کابل‌های پیش‌تنیده در سازه‌های مهندسی کاربردهای وسیعی داشته و نمونه‌های آن را می‌توان در مهار دودکش‌های واحدهای صنعتی، دکل‌های انتقال نیرو، توربین‌های بادی و در سال‌های اخیر در مقاوم‌سازی ساختمان‌ها مشاهده نمود.

نظر به اهمیت مسائل اقتصادی، طراحی چنین سازه‌ها با استفاده از دکل‌های خود ایستا حداکثر تا ارتفاع ۱۰۰ متر معمول بوده و برای دکل‌های بلند تا ۶۰۰ متر از سیستم دکل‌های مهار شده با کابل استفاده شده است. در تحقیقات اولیه از یک روش ساده جهت تحلیل کابل‌های مهاری استفاده گردیده است در پژوهش بل و همکاران، زاویه کابل ثابت و ۴۵ درجه فرض شده و متغیرهای بهینه‌سازی شامل قطر کابل، نیروی پیش‌تندگی کابل‌ها، سطح مقطع اعضای عمودی و مورب می‌باشند [1]. در پژوهش‌های گانتس و همکاران، بررسی رفتار غیر خطی کابل‌ها با لحاظ مقادیر نیروی پیش‌تندگی اعمالی برای دکل‌های مهاری صورت گرفته است [2]. بررسی رفتار دینامیکی سازه‌های مهاری با کابل‌های پیش‌تنیده تحت نیروهای جانبی و اثرات مقادیر پیش‌تندگی و روابط پیشنهادی جهت تخمین مقادیر فرکانس سازه از پژوهش‌های دیگر در حوزه دکل‌های مهاری می‌باشد [3]. در خصوص عملکرد کابل‌های پیش‌تنیده در مقاوم‌سازی قاب‌های سازه‌ای می‌توان به پژوهشی در حوزه بهبود رفتار قاب‌های خمشی با مهاربندهای ضربردی از جنس کابل پیش‌تنیده اشاره نمود [4]. ساودی و همکاران در سال ۲۰۱۴ ارزیابی فرکانس طبیعی یک دکل مهاری واقعی به ارتفاع ۹۰ را به صورت تجربی مورد بررسی و نتایج حاصل از سنجش فرکانس در محل را با فرکانس حاصل از روش‌های تحلیلی و عناصر محدود مورد مقایسه قرار داده‌اند. مطابق با نتایج تحقیقات، با افزایش در وزن آنتن، مقادیر فرکانس سازه دکل کاهش می‌یابد [5]. در سال ۲۰۰۳ یک مطالعه موردی از دکل واقعی با روش‌های تحلیلی و تجربی برای دکل با ارتفاع ۵۰ متر و با رویکرد ثبت نیروهای وارده حاصل از باد روی سازه دکل صورت گرفت [6]. همچنین در سال ۲۰۱۸ بالین و همکاران به

مطالعه بر رفتار دینامیکی دکل‌های مهاری و اثرات نیروی پیش‌تندگی کابل‌ها روی فرکانس سازه پرداخته‌اند [7]. در تحقیق مشابهی لوزاردو به بررسی اثرات مقادیر نیروهای پیش-تندگی کابل‌ها در یک محدوده ۵ الی ۲۰ درصد از مقادیر تنش نهایی کابل و تغییرات در مقادیر فرکانس سازه، جابه‌جایی دکل، نیروهای محوری و... پرداخته‌اند. مطابق با نتایج تحقیقات، با افزایش مقادیر نیروی پیش‌تندگی، مقادیر فرکانس سازه نیز روند افزایشی پیدا می‌کند [8]. از تحقیقات دیگر در خصوص کاهش دامنه ارتعاشات دکل مهاری تحت بارهای باد می‌توان به تحقیقات مربوط به کنترل فعال چنین سازه‌هایی اشاره نمود [9]. در زمینه تحلیل فرکانس ارتعاش سازه‌های بلند به صورت تقریبی و توزیع غیر یک‌نواخت جرم و سختی به تحقیقات کاظمی و همکاران می‌توان اشاره نمود [10]. با توجه به اثر قابل توجه نیروی باد در پایداری سازه‌های دکل مهاری، به تحقیقات پزو و همکاران در بررسی رفتار دینامیکی سازه دکل مهاری تحت نیروی باد می‌توان اشاره نمود [11]. از پژوهش‌های دیگر در حوزه بهینه‌سازی موقعیت کابل‌های دکل مهاری تحت جریان آشفته باد با تابع هدف کمینه نمودن وزن سازه، به استفاده از الگوریتم تبرید شبیه‌سازی می‌توان اشاره نمود [12]. در خصوص بررسی ناپایداری دکل‌های مهاری تحت نیروی پیش‌تندگی و بار جانبی با حداقل مقادیر ممان اینرسی، برای بخش سازه عمودی دکل، می‌توان به پژوهش‌های گلدبرک اشاره نمود [13]. یکی از پژوهش‌های مرتبط با بهینه‌سازی شکل و اندازه دکل مهاری با تحلیل غیر خطی و استفاده از الگوریتم ژنتیک مربوط به بهینه نمودن وزن دکل مهاری با ارتفاع ۳۰ متر می‌باشد [14]. همچنین در تحقیق دیگری روند بهینه‌سازی دکل مهاری به ارتفاع ۹۵ متر، با متغیرهایی مانند مقادیر نیروی پیش-تندگی، زوایای کابل‌ها، قطر کابل و قطر عناصر سازه عمودی دکل و... و در حالت‌های مختلف آرایش کابل‌ها با تابع هدف کمینه نمودن وزن سازه صورت گرفته است [15]. این پژوهش، با هدف حداکثر نمودن فرکانس ارتعاش سازه دکل مهاری در آرایش‌های مختلف کابل، با فرض صلب بودن سازه خرابایی دکل مهاری و مدل‌سازی رفتار کابل به صورت فنر معادل ایدئال و همچنین لحاظ نمودن اثر پیش‌تندگی و با فرض دو متغیر برای هر کابل نگه‌دارنده دکل صورت می‌گیرد. نتایج حاصل از الگوریتم‌های ازدحام ذرات، ژنتیک و کرم شب‌تاب نیز مورد بررسی قرار می‌گیرد. همچنین اثر سایر متغیرها نظیر تغییرات جرم متمرکز، جرم واحد طول دکل و تعداد کابل مهاری در

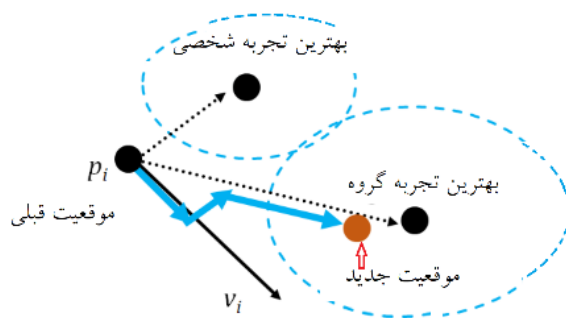
شده مقادیری برابر ۱۵ درصد اختلاف بین حد بالا و پایین متغیرها محاسبه و به هر متغیر اضافه می‌گردد.

جدول ۱ متغیرهای الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک	
تعداد جمعیت اولیه	Population = 20
درصد باز ترکیب	$C_p = 0.8$
نرخ جهش	Mu=0.2
تعداد تکرار	Iteration = 100

الگوریتم ازدحام ذرات

بهینه‌سازی ازدحام ذرات در سال ۱۹۹۵ توسط جیمز کندی و راسل ابداع شده است. در این الگوریتم، گروهی از پرندگان در حال حرکت، دائم در حال تغییر موقعیت بوده و مدل تغییرات در بردار جابه‌جایی هر ذره در هر تکرار با لحاظ بهترین تجربه گروه ذرات و تجربه شخصی هر ذره بهبود داده می‌شود. این الگوریتم با شبیه‌سازی رفتار اجتماعی پرندگان، هر ذره یک موقعیت تصادفی و مختصات ذره در فضای جستجوی چند بعدی تعریف و متناسب با موقعیت آن مقداری بر اساس روابط تابع هدف محاسبه می‌گردد. مطابق شکل شماره (۱) موقعیت جدید هر ذره بر اساس سه بردار شامل سرعت اولیه، بهترین تجربه شخصی هر ذره و بهترین تجربه گروه می‌گردد. مطابق رابطه (۲) می‌شود. محاسبات الگوریتم ازدحام ذرات مطابق رابطه (۲) صورت می‌گیرد [19].



شکل ۱ بردارهای جابه‌جایی ذرات در الگوریتم ازدحام ذرات

$$V_i^{t+1} = w \cdot V_i^t + C_1 \text{rand.} (p_i^t - p_i^t) \dots \\ + C_2 \text{rand.} (g^t - p_i^t)$$

(۱)

$$P_i^{t+1} = P_i^t + V_i^{t+1}$$

(۲)

پاسخ فرکانسی سیستم بررسی می‌شود.

الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک یک روش بهینه‌سازی و جستجو بر پایه قوانین ژنتیک می‌باشد. این الگوریتم برای هر دسته متغیر یک دسته ژن را تعریف می‌کند و هر کروموزوم شامل دسته‌ای از ژن‌ها و هر ژن بیانگر یک متغیر مسئله می‌باشد. این الگوریتم همزمان در یک میدان جستجو چندین نقطه را انتخاب کرده و ارزش هر نقطه جستجو به صورت مستقل محاسبه می‌شود. این الگوریتم از قوانین علم ژنتیک استفاده کرده و اصطلاحات ژنتیکی آن به این صورت می‌باشد که یک کروموزوم شامل برداری از اعداد که همان متغیرهای مسئله بوده و تشکیل شده از چند ژن و هر ژن بیانگر یک متغیر برای حل مسئله می‌باشد [16]. یک کروموزوم بعد از قرار گرفتن در فرایند حل مسئله با توجه به تابع هدف از یک درجه مطلوبیتی برخوردار می‌شود و مقدار حاصل از مجموعه متغیرهای کروموزوم در یک تابع هدف به میزان سازگاری معروف می‌شود. همچنین برای تولید نسل‌های بهتر می‌بایست عملیات جابه‌جایی ژن‌های متناظر از دو کروموزوم به عنوان والد‌های تولید نسل صورت گیرد که به این مرحله تبادل ژن گفته می‌شود. برای همگرایی بهتر مسئله در رسیدن به پاسخ کمینه باید تغییرات تصادفی در یک یا چند ژن و چند کروموزوم منتخب صورت گیرد. در این الگوریتم ابتدا متغیرهای مسئله شناسایی و تابع هدف و متغیرهای لازم شناسایی شده و سپس جمعیتی از کروموزوم‌ها که شامل یک رشته از متغیر پیوسته می‌باشد به صورت تصادفی ساخته می‌شود و در مرحله بعدی با استفاده از عملگرهای گزینشی کروموزوم‌های والد تعیین و فرزندان جدید تولید می‌شوند. بعد از اعمال عملگرهای جهش و تبادل ژنی، فرزندان جدید با توجه به تابع هدف، ارزیابی و در ادامه با انتخاب کروموزوم‌های والد جدید که بهترین‌ها می‌باشند عملیات تکرار شده تا جواب بهینه حاصل شود. الگوریتم ژنتیک با استفاده از عملگرهای پیوند و جهش به جستجوی فضای مسئله با نرخ مشخص جهش می‌پردازد [17,18]. مطابق با جدول شماره (۱) درصد باز ترکیب برابر ۰/۸ که ۸۰ درصد جمعیت را برای انجام عملیات بازترکیب انتخاب می‌کند. همچنین نرخ جهش برابر ۰/۲ که با عملیات جهش، ۲۰ درصد متغیرها انتخاب و در برنامه نوشته

ضریب مربوط به تنوع جذابیت بوده و برابر ۱ می‌باشد. نحوه حرکت کرم شب‌تاب با رابطه (۳) می‌باشد.

$$x_{i+1} = x_i + \beta_0 \cdot (e^{-\gamma r_{ij}^2}) \cdot (x_j - x_i) + \alpha_0 \cdot \text{rand} \quad (3)$$

در رابطه فوق، x_i موقعیت اولیه کرم شب‌تاب i و x_j موقعیت کرم شب‌تاب j و r_{ij} فاصله اقلیدوسی دو کرم شب‌تاب x_{i+1} نیز موقعیت ثانویه بعد از حرکت می‌باشد.

معرفی مسئله بهینه‌سازی

در فرمول‌بندی مسئله بهینه‌سازی، هدف اصلی یافتن بردارهای متغیرهای طراحی در یک محدوده حداقل و حداکثری می‌باشد. الگوریتم‌های بهینه‌سازی به صورت تصادفی از لیست مقادیر اولیه، کمیت‌هایی را انتخاب و مسئله بهینه‌سازی را با کنترل قیدهای حاکم حل می‌نمایند. در یک مسئله بهینه‌سازی، تابع هدف مطابق رابطه (۴) تعریف می‌گردد که متغیرهای طراحی باید ضمن ارضای تمامی محدودیت‌ها، تابع هدف را به کمترین مقدار ممکن سوق دهند.

$$\text{Minimize: } F(x) \quad (4)$$

$$\text{Subject to : } S_k^{\min} \leq S_k \leq S_k^{\max} \quad (1-4)$$

$$X^{\min} \leq X_i \leq X^{\max} \quad (2-4)$$

در رابطه فوق $F(x)$ تابع هدف، x بردار متغیرهای طراحی، X_i ، $S_k^{\min}$ و $S_k^{\max}$ به ترتیب متغیرهای طراحی، حدود بالایی قیدها و حد پایینی قیدهای طراحی می‌باشد.

تابع هدف

هر مسئله بهینه‌سازی با مجموعه‌ای از کمیت‌ها بیان می‌شود که تعدادی از این کمیت‌ها به صورت متغیر و برخی از کمیت‌ها به صورت عامل‌های ثابت با مقادیر معلوم تعریف می‌شوند. با توجه به اینکه هدف اصلی بهینه‌سازی، انتخاب بهترین طرح، از بین طرح‌های قابل قبول می‌باشد. لذا معیار مقایسه‌ای جهت انتخاب بهترین طرح با محدودیت‌های مسئله، تابع هدف مسئله می‌باشد. در این تحقیق، معکوس مقدار فرکانس ارتعاشی سازه به عنوان تابع هدف و زاویه کابل‌های نگه‌دارنده با افق و موقعیت ارتفاعی اتصال کابل‌ها به سازه دکل به عنوان متغیرهای طراحی تعریف می‌شوند.

بهترین تجربه pb_i^t سرعت جدید ذره، V_i^{t+1} در روابط فوق p_i^t بهترین تجربه گروهی از بین ذرات و gb^t و شخصی هر ذره موقعیت قبلی ذره می‌باشد. مطابق با جدول شماره (۲) مقادیر مربوط به ضرایب یادگیری با تجربه شخصی C_1 و C_2 متغیرهای ضریب اینرسی سرعت w و تجربه گروهی با مقادیر ۲ می‌باشند. ذرات از مقادیر ۰/۹ تا ۰/۴ به صورت خطی تا تکرار آخر کاهش می‌یابد.

جدول ۲ متغیرهای الگوریتم ازدحام ذرات

الگوریتم ازدحام ذرات	
تعداد جمعیت اولیه	Population = 20
ضریب یادگیری	$C_1 = C_2 = 2$
ضریب اینرسی	$w_2 = 0.9 \quad w_1 = 0.4$
تعداد تکرار	Iteration = 100

الگوریتم کرم شب‌تاب

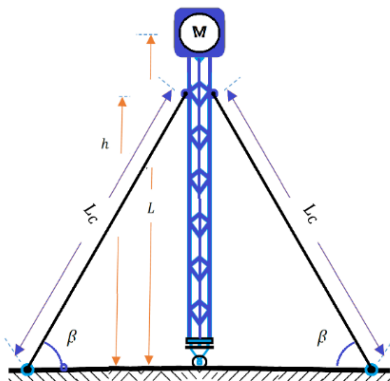
الگوریتم کرم شب‌تاب Firefly Algorithm به اختصار FA در سال ۲۰۰۷ توسط Xin-She Yang معرفی شد و ایده اصلی آن ارتباط نوری بین کرم‌های شب‌تاب الهام گرفته از طبیعت می‌باشد. میزان جذابیت هر کرم شب‌تاب متناسب با شدت روشنایی هست که توسط سایر کرم‌ها مشاهده می‌شود. در الگوریتم کرم شب‌تاب سه شرط می‌بایست رعایت گردد. شرط اول هم جنس بودن کرم‌های شب‌تاب، شرط دوم تناسب قدرت جذب هر کرم شب‌تاب با شدت نور و شرط سوم در خصوص کیفیت جواب و میزان نزدیکی آن به تابع هدف است که متناسب با درخشندگی تعریف می‌گردد [20].

جدول ۳ متغیرهای الگوریتم کرم شب‌تاب

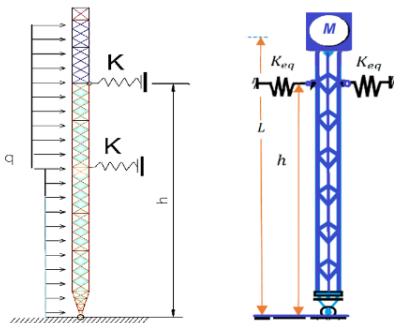
الگوریتم کرم شب‌تاب	
تعداد جمعیت اولیه	Population = 20
جذابیت در $r=0$	$\beta_0 = 2$
تنوع جذابیت	$\gamma = 1$
عدد تصادفی	$\alpha_0 = 0.2$
تعداد تکرار	Iteration = 100

در جدول (۳) مقادیر β_0 ضریب جذابیت که با فاصله دو کرم شب‌تاب محاسبه و α_0 مقادیر تصادفی جهت تغییر زاویه حرکت هر کرم شب‌تاب در هر مرحله از حرکت می‌باشد. γ

شامل می‌شود. همان طور که در شکل (۳) مشاهده می‌گردد سازه خرابایی دکل به واسطه دو کابل ارتجاعی به طول‌های L_c با زاویه نسبت به افق برابر β و موقعیت ارتفاعی نصب کابل یعنی h مجموعه سیستم ارتعاشی را تشکیل می‌دهند. سختی جانبی و پایداری کلی سازه با کابل‌های پیش‌تنیده طرفین صورت می‌گیرد و سختی کابل‌های فوق با فنری ایدئال معادل می‌شود. سختی معادل کابل‌های پیش‌تنیده طرفین سازه خرابایی از رابطه (۱۰) محاسبه می‌شود.



شکل ۲ سازه دکل مهاري با کابل‌های پیش‌تنیده



شکل ۳ مدل دکل مهاري با فنر ایدئال معادل

همان طور که در شکل (۳) مشاهده می‌گردد سازه خرابایی دکل به واسطه دو کابل ارتجاعی به طول‌های L_c و زاویه β و موقعیت ارتفاعی نصب h مجموعه سیستم ارتعاشی را تشکیل می‌دهند. سختی جانبی و پایداری سازه با کابل‌های پیش‌تنیده طرفین صورت می‌گیرد و سختی کابل‌های فوق با فنری معادل می‌شود که فرض می‌شود به اندازه کافی پیش‌تنیده هستند و رفتار ایدئال عضو خرپا مانند را در سختی جانبی تشکیل می‌دهند.

$$F(X) = 1/\omega_n \quad (5)$$

تابع جریمه

محاسبات بر اساس الگوریتم‌های فراابتکاری برای مسائل بهینه سازی بدون قید بوده و جهت کاربردی نمودن الگوریتم‌ها و ادغام مقادیر محدودیت مسائل مقید می‌بایست تابع هدف و مجموع قیود حاکم با تابع معادل تعریف شوند. رایج‌ترین مدل برای تشکیل چنین تابع معادل، استفاده از روش جریمه و در این تحقیق تعریف تابع جریمه به صورت زیر می‌باشد [21].

$$P(X) = F(X)[1 + P \cdot C] \quad (6)$$

در رابطه فوق $P(X)$ تابع هدف جریمه شده و ضریب P عدد ثابت و مثبتی که به ضریب جریمه معروف بوده و بر اساس نوع مسئله توسط کاربر تعیین می‌شود. همچنین ضریب C مجموع مقادیر نسبی قیدهای نقض شده می‌باشد. در این پژوهش $P=10$ در نظر گرفته شده است. در مسائل کمینه‌سازی، اگر تخطی از محدودیت‌ها صورت نگیرد در این صورت مقدار عددی C برابر صفر خواهد شد.

$$\text{if } g(X_i) > 0 \rightarrow \text{then } C_i = g(X_i) \quad (7)$$

$$\text{elseif } g(X_i) \leq 0 \rightarrow \text{then } C_i = 0 \quad (8)$$

$$C = \sum_{i=1}^m C_i = \sum_{i=1}^m g(X_i) \quad (9)$$

جدول ۴ قیدهای مربوط به متغیرهای طراحی

شماره	متغیر طراحی	قیدهای مشخصه
g_1	$0.06\pi \leq \beta \leq 0.45\pi$	زاویه کابل (رادیان)
g_2	$0.1L \leq h \leq L$	ارتفاع نصب کابل (متر)

مثال عددی

مثال ۱

برای مقایسه پاسخ‌های فرکانس ارتعاشی سیستم با فرض صلب بودن سازه دکل، همچنین با فرض اینکه رفتار کابل با فنر ایدئال و پیش‌تنیدگی کافی مدل شود. بررسی پاسخ حاصل از تحلیل و پاسخ الگوریتم‌های فراابتکاری مورد مقایسه قرار می‌گیرد. مطابق شکل (۲) مدل شماتیک دکل مهار شده با کابل‌های پیش‌تنیده به صورت یک سیستم یک درجه آزادی بوده و هر کابل مهارکننده شامل دو متغیر زاویه و موقعیت اتصال کابل در ارتفاع دکل را

مهار شده مطابق جدول (۵) بوده و نتایج حاصل از محاسبات تحلیلی و الگوریتم‌ها به ترتیب مطابق جدول‌های (۵) و (۶) می‌باشد.

جدول ۵ مقادیر مشخصات سازه‌ای

عنوان	مقادیر عددی
مدول الاستیسیته کابل	$E_c = 178 \times 10^9 \text{ Pa}$
قطر کابل	$d_c = 12.6 \text{ mm}$
جرم متمرکز	$M = 1 \text{ kg}$
جرم واحد طول دکل	$m_b = 1.5 \text{ kg/m}$
طول دکل	$L = 36.5 \text{ m}$

جدول ۶ مقادیر بهینه متغیرها (روش تحلیلی)

عنوان متغیر	مقادیر
زاویه کابل‌ها با افق (درجه)	$\beta = 35.3$
ارتفاع کابل از زمین (متر)	$h = 36.5 \text{ m}$
فرکانس طبیعی (رادیان)	$\omega_n = 154.8$

برای هر ۳ الگوریتم بهینه‌سازی، جهت محاسبات آماری نتایج خروجی، هر الگوریتم برای ۱۰ بار اجرای مستقل ثبت تا بهترین پاسخ انتخاب گردد.

جدول ۷ نتایج الگوریتم‌های بهینه‌سازی (۲ عدد فتر)

متغیرها	در این پژوهش		
	PSO	GA	FA
$\beta(\text{deg})$	35.41	35.01	35.26
$h(\text{m})$	36.5	36.5	36.5
$\omega_n(\text{rad/s})$	154.94	154.94	154.94
Best	154.94	154.94	154.94
Std	0.0	0.0	0.0

فرکانس ارتعاش سیستم در شرایط استفاده از رفتار فتر ایدئال دو کابل برابر ۱۵۴/۹۴ رادیان بر ثانیه و زاویه کابل‌ها نسبت به افق برابر ۳۵ درجه حاصل می‌شود. در صورتی که به جای دو کابل از یک کابل در شرایط حذف شدن کابل تحت نیروی فشاری استفاده شود زاویه کابل‌ها مطابق با جدول (۸) برابر ۳۵ درجه باقی می‌مانند.

$$K_{eq} = \frac{A_c E_c}{L_c} \cdot \cos^2 \beta \quad (10)$$

در رابطه فوق E_c ، مدول الاستیسیته کابل و A_c سطح مقطع کابل پیش‌تنیده و L_c ، طول کابل نگه‌دارنده و β زاویه کابل نگه‌دارنده نسبت به افق می‌باشد. همچنین ارتباط بین طول کابل و زاویه کابل و ارتفاع نصب آن به صورت رابطه (۱۱) بیان می‌شود.

$$L_c = \frac{h}{(\sin \beta)} \quad (11)$$

$$K_{eq} = \frac{A_c E_c}{h} \cdot \cos^2 \beta \cdot \sin \beta \quad (12)$$

معادله ارتعاش سیستم یک درجه آزاد مطابق شکل (۳) به صورت زیر نوشته می‌شود.

$$(ML^2 + \frac{1}{3}m_b \cdot L^2)\ddot{\theta} + (2E_c A_c h \cos^2 \beta \cdot \sin \beta)\dot{\theta} = 0 \quad (13)$$

در رابطه بالا M جرم متمرکز دکل، m_b جرم کل دکل و برابر $m_b = m'_b \cdot L$ بوده که فرکانس ارتعاش زاویه‌ای سیستم از رابطه (۱۴) قابل استخراج می‌باشد. در رابطه زیر عدد ۲ در صورت کسر به دلیل لحاظ نمودن اثر مشترک دو کابل با فرض پیش‌تیدگی ایدئال معادل فتر که در سختی جانبی در شرایط رفت و برگشت و ارتعاش سیستم، مشارکت همزمان کابل‌ها در سختی جانبی لحاظ شده باشد.

$$\omega_n = \sqrt{\frac{(2E_c A_c h \cos^2 \beta \cdot \sin \beta)}{(ML^2 + \frac{1}{3}m'_b \cdot L^3)}} \quad (14)$$

در راستای افزایش سختی جانبی دکل و با حذف آثار اندرکنش بستر سازه جهت دور شدن فرکانس طبیعی از فرکانس تحریک و جلوگیری از پدیده تشدید می‌بایست فرکانس ارتعاش سیستم حداکثر مقدار ممکن را با متغیرهای تعریف شده داشته باشد. حل معادله فوق به صورت تحلیلی با دو متغیر شامل زاویه کابل و ارتفاع نصب کابل، از رابطه (۱۵) به دست می‌آید.

$$\frac{\partial \omega_n}{\partial \beta} = 0 \rightarrow \tan \beta \cdot \tan 2\beta = 2 \quad (15)$$

با حل رابطه فوق، زاویه بهینه کابل نسبت به افق ۳۵ درجه می‌شود. نتایج حاصل از الگوریتم‌های بهینه‌سازی نیز مقدار زاویه و ارتفاع نصب کابل را مطابق با مقادیر تحلیلی به دست می‌آورند. بنابراین صحت‌سنجی خروجی الگوریتم‌ها صورت می‌گیرد. مشخصات مربوط به معادلات ارتعاشی سیستم دکل

مطابق با نتایج جدول (۹) با استفاده از رابطه (۱۶) با لحاظ اثرات پیش‌تندگی در معادلات سختی فنر معادل کابل‌های مهار، میزان زاویه بهینه کابل‌ها نسبت به افق برابر ۷۵ درجه مطابق با شکل (۴) می‌شود. همچنین مقادیر فرکانس ارتعاشی سیستم نیز در حدود ۲/۵ رادیان بر ثانیه و متناسب با آن زمان تناوب سازه ۲/۵۴ ثانیه می‌شود.

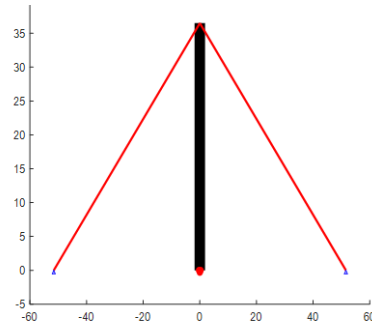
جدول ۹ نتایج بهینه‌سازی (اثر پیش‌تندگی)

متغیرها	در این پژوهش		
	PSO	GA	FA
$\beta(\text{deg})$	75.03	75.03	75.03
$h(\text{m})$	36.5	36.5	36.5
$\omega_n(\text{rad/s})$	2.47	2.47	2.47
Best	2.47	2.47	2.47
Std	0.0	0.0	0.0

مثال ۲

در این قسمت، مثال ۱ برای حالت‌هایی که دکل در ترازهای مختلف با کابل مهار شده است بررسی می‌شود. ارتفاع دکل برای تمام حالت‌های بررسی برابر ۳۶/۵ متر است. تعداد فنرهای معادل با کابل مهارکننده در ارتفاع دکل مطابق با شکل (۶) می‌باشد. شروع بهینه‌سازی از نقاط اولیه اتصال فنرهای معادل کابل می‌باشد. مشخصات سازه‌ای مطابق با مثال ۱ می‌باشد. در این قسمت نیز، با استفاده از الگوریتم‌های ژنتیک، ازدحام ذرات و کرم شب‌تاب، روند همگرایی و پاسخ‌های مسئله مقایسه شده است.

هر کابل، با تعریف دو متغیر شامل زاویه کابل نسبت به افق و ارتفاع نصب کابل به سازه خرابایی مدل می‌شود. برای دکل با ۱۲ کابل مهار مسئله بهینه‌سازی با ۲۴ متغیر فرمول‌بندی می‌شود. تعداد کابل‌های مهار در ۵ مدل مهار دکل در ارتفاع ۳۶/۵ متر بررسی می‌شود. جهت تعیین موقعیت و محدوده تغییرات فنر معادل کابل مهار با تقسیم ارتفاع دکل به تعداد مشخص و مشخص شدن تراز هر طبقه، موقعیت اولیه هر کابل به اندازه ۵۰ درصد ارتفاع طبقه فوقانی و ۵۰ درصد از مقادیر ارتفاع طبقه تحتانی قابلیت جابه‌جایی را پیدا می‌کنند. هر کابل



شکل ۴ شکلی هندسی سازه بهینه شده

جدول ۸ نتایج الگوریتم‌های بهینه‌سازی (۱ عدد فنر)

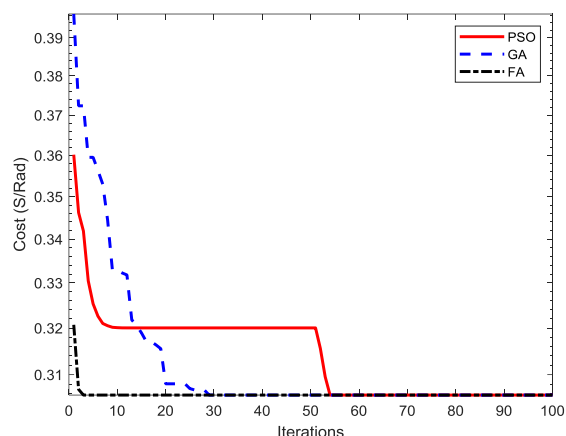
متغیرها	در این پژوهش		
	PSO	GA	FA
$\beta(\text{deg})$	35.27	35.27	35.26
$h(\text{m})$	36.5	36.5	36.5
$\omega_n(\text{rad/s})$	109.56	109.56	109.56
Best	109.56	109.56	109.56
Std	0.0	0.0	0.0

با توجه به جدول (۸)، با فرض حذف شدن یکی از فنرهای ایدئال سیستم مقادیر فرکانس سازه دکل فوق کاهش حدود ۳۰ درصدی را نسبت به حالت استفاده از دو فنر معادل نشان می‌دهد. برای سازه دکل مهار فوق جهت در نظر گرفتن اثر نیروی پیش‌تندگی کابل‌ها از سختی معادل فنر مطابق با رابطه (۱۶) جهت مقایسه نتایج استفاده می‌شود [22].

$$k = n \cdot \left\{ T_p + \frac{0.5 \cdot A_c \cdot E \cdot \left(\frac{a}{C} \right)^2}{1 + (BT)} \right\} \cdot \frac{1}{C} \quad (16)$$

$$BT = \left\{ \left(\frac{mga}{T_p} \right) \cdot \left(\frac{A_c \cdot E}{12 \cdot T_p} \right) \right\} \quad (1-16)$$

در رابطه فوق، n تعداد کابل در هر نقطه اتصال به دکل، a تصویر افقی طول کابل، C طول مورب هر کابل، mg وزن واحد کابل، T_p نیروی پیش‌تندگی داخل کابل مهار، A_c سطح مقطع کابل مهار، E مدول الاستیسیته کابل می‌باشد. چگالی مصالح کابل برابر ۱۰ تن در هر مترمکعب، نیروی پیش‌تندگی نیز معادل ۱۰ درصد تنش نهایی کابل در نظر گرفته می‌شود. تنش نهایی گسیخته شدن کابل نیز برابر ۱۸۰۰۰ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع فرض شده است.



شکل ۶ روند همگرایی الگوریتم‌ها (مثال ۲- حالت ۱)

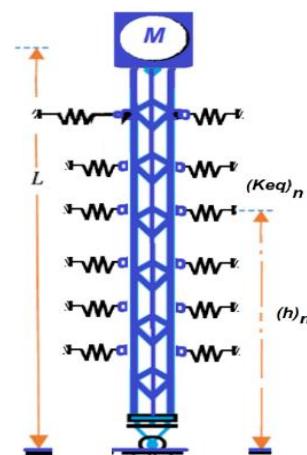
حالت ۲ (مهاری دکل در ۳ تراز). در این قسمت، دکل در سه تراز ارتفاعی با کابل‌های پیش‌تنیده مهاری می‌شود. مطابق جدول (۱۱) تراز ارتفاعی بهینه کابل‌های دوم و سوم به ترتیب در ۸۰ و ۵۰ درصد از ارتفاع دکل قرار می‌گیرد و زاویه کابل‌ها ۷۵ درجه برای هر سه کابل به دست می‌آید.

جدول ۱۱ نتایج بهینه‌سازی برای مثال ۲- حالت ۲

متغیر	دکل مهاری شده در ۳ تراز ارتفاعی		
	PSO	GA	FA
β_1	75.03	75.03	75.03
β_2	75.03	75.03	75.03
β_3	75.03	75.03	75.03
$h_1(m)$	18.25	18.2	18.25
$h_2(m)$	30.41	30.4	30.4
$h_3(m)$	36.5	36.5	36.5
$\omega_n(rad/s)$	3.77	3.77	3.77
Best	3.77	3.77	3.77
Std	0.37	0.0	0.0

حالت ۳ (مهاری دکل در ۴ تراز). در این قسمت، روند بهینه‌سازی برای مهاری دکل در ۴ تراز ارتفاعی بررسی می‌شود. نتایج خروجی روند بهینه‌سازی حالت ۳ در جدول (۱۲) مشاهده می‌گردد. تراز ارتفاعی بهینه برای کابل‌های دوم و سوم و چهارم به ترتیب در حدود ۳۷، ۶۲، و ۸۷ درصد از ارتفاع کل دکل بوده و زاویه بهینه کابل‌ها یکسان می‌باشد. مطابق با نتایج جدول (۱۲) با افزایش تعداد کابل‌ها به ۲ برابر در مقایسه با حالت

از موقعیت اولیه خود به اندازه حدود بالای تعریف شده و حد پایین (۵۰ درصد ارتفاع طبقه تحتانی) قابلیت جابه‌جایی برای کشف موقعیت بهینه را خواهد داشت.

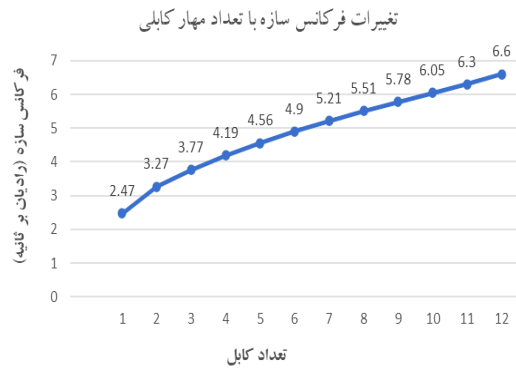


شکل ۵ مدل دکل مهاری با چندین فنر معادل

حالت ۱ (مهاری دکل در ۲ تراز). در این قسمت، بخش سازه خرابایی دکل در ۲ تراز ارتفاعی مهاری می‌شود. با توجه به جدول (۱۰)، تراز ارتفاعی بهینه اتصال کابل دوم حدود ۷۵ درصد از ارتفاع دکل و زاویه کابل‌ها با هر سه الگوریتم بهینه‌سازی، ۷۵ درجه به دست می‌آید. در شکل (۶) روند همگرایی هر سه الگوریتم نسبت به یکدیگر مقایسه و پایداری پاسخ الگوریتم کرم شبتاب نسبت به سایر الگوریتم‌ها مناسب‌تر تشخیص داده می‌شود.

جدول ۱۰ نتایج بهینه‌سازی برای مثال ۲- حالت ۱

متغیر	دکل مهاری شده در ۲ تراز ارتفاعی		
	PSO	GA	FA
β_1	75.03	75.03	75.03
β_2	75.03	75.03	75.03
$h_1(m)$	27.37	27.30	27.37
$h_2(m)$	36.5	36.5	36.5
$\omega_n(rad/s)$	3.27	3.27	3.27
Best	3.27	3.27	3.27
Std	0.1	0.01	0.0

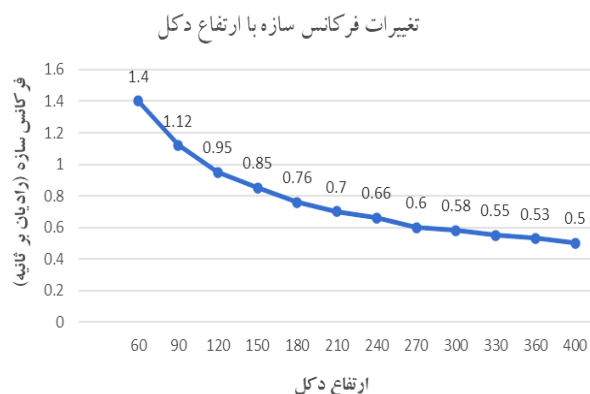


شکل ۸ نمودار تغییرات فرکانس سیستم با تغییرات تعداد کابل

مثال ۳

در این قسمت، تغییرات فرکانس سازه متناسب با تغییرات ارتفاع سازه دکل از ۶۰ متر تا ۴۰۰ متر با تعداد کابل‌های مهاری حاصل از تقسیم ارتفاع کل دکل به ۱۵ متر بررسی می‌گردد. میزان نیروی پیش‌تندگی کابل‌ها در حدود ۱۰ درصد تنش نهایی کابل و قطر کابل‌ها نیز ۳۰ میلی‌متر در نظر گرفته می‌شود. وزن آنتن در رأس سازه دکل ۱۰۰ کیلوگرم و وزن واحد طول دکل ۲۵ کیلوگرم بر متر طول می‌باشد.

فواصل اولیه کابل‌ها نسبت به یکدیگر جهت شروع بهینه‌سازی به صورت یکسان و برابر ۱۵ متر انتخاب می‌شود. به طور مثال برای دکل ۶۰ متری، ۴ عدد کابل پیش‌تند شده با ۸ متغیر بهینه‌سازی تعریف می‌شود. مطابق با شکل (۹) مشاهده می‌شود با ۴ برابر شدن ارتفاع دکل، فرکانس سازه ۵۰ درصد کاهش و به تناسب، زمان تناوب سازه دکل ۲ برابر افزایش می‌یابد. برای تمام ارتفاع دکل، زاویه بهینه نسبت به افق با هر تعداد کابل مهاری برابر ۷۵ درجه در شرایط بهینه می‌شود. زاویه فوق در شرایط عدم محدودیت زمین جهت نصب فونداسیون کابل‌ها می‌باشد.

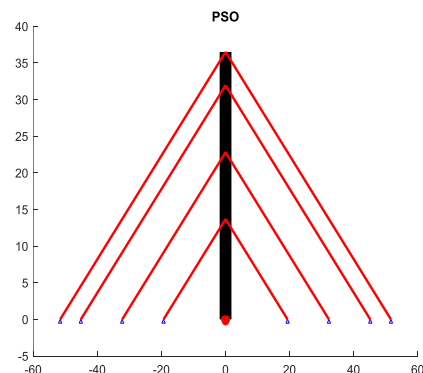


شکل ۹ نمودار تغییرات فرکانس سیستم با تغییرات ارتفاع دکل

مهاری در ۲ تراز میزان فرکانس سازه حدود ۲۸ درصد افزایش یافته است.

جدول ۱۲ نتایج بهینه‌سازی برای مثال ۲- حالت ۳

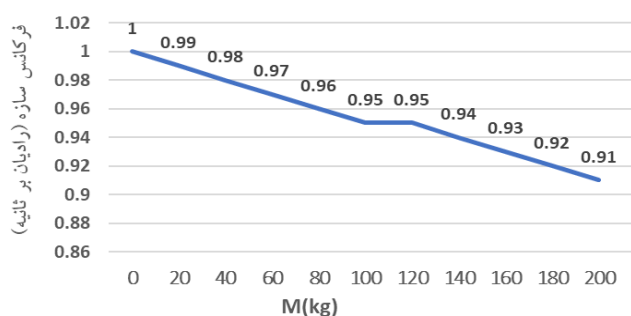
متغیر	دکل مهار شده در ۴ تراز ارتفاعی		
	PSO	GA	FA
β_1	75.03	75.03	75.03
β_2	75.03	75.03	75.03
β_3	75.03	75.03	75.03
β_4	75.03	75.03	75.03
$h_1(m)$	13.68	13.55	13.68
$h_2(m)$	22.8	22.80	22.8
$h_3(m)$	31.9	31.93	31.9
$h_4(m)$	36.5	35.91	36.5
$\omega_n(rad/s)$	4.19	4.19	4.19
Best	4.19	4.19	4.19
Std	0.2	0.011	0.0



شکل ۷ شکل هندسی بهینه برای مثال ۲- حالت ۳

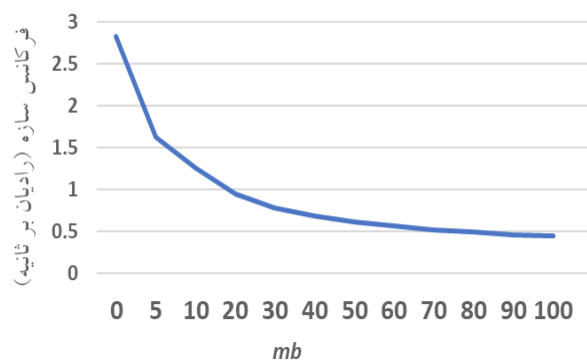
حالت ۴ (مهار دکل تا ۱۲ تراز ارتفاعی). در این حالت، تغییرات فرکانس ارتعاشی سیستم در مقابل تغییرات افزایشی تعداد مهارهای جانبی بررسی می‌شود. با توجه به شکل (۸) تغییرات فرکانس سازه دکل نسبت به افزایش تعداد کابل‌های مهاری نشان داده شده است. بیشترین درصد افزایشی فرکانس سازه زمانی ایجاد می‌شود که مهار جانبی دکل از ۱ مهار به ۲ مهار در ارتفاع افزایش یابد. همچنین اگر طراح قصد افزایش فرکانس چنین سیستمی را به اندازه ۲ برابر فرکانس قبلی باشد می‌بایست تعداد مهارها در حدود ۶ برابر تراز قبلی افزایش داده شوند.

تغییرات فرکانس سازه با افزایش جرم متمرکز



شکل ۱۱ تغییرات فرکانس طبیعی با تغییرات جرم متمرکز آنتن

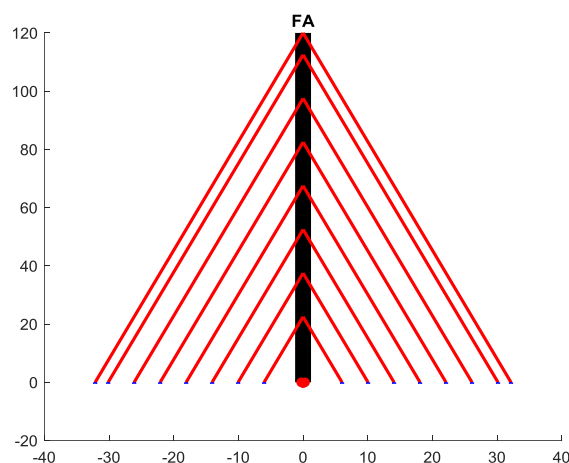
تغییرات فرکانس سازه بر حسب جرم واحد طول دکل



شکل ۱۲ تغییرات فرکانس طبیعی سیستم بر حسب تغییرات جرم بر واحد طول سازه دکل

مثال ۵

در این قسمت، تغییرات فرکانس سازه مثال ۱ با تغییرات در مقادیر نیروی پیش‌تیدگی کابل‌های مهاری، همچنین نسبت به تغییرات قطر کابل‌ها در دو حالت لحاظ نمودن وزن کابل و عدم لحاظ وزن کابل‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرد. بازه بررسی مقادیر نیروی پیش‌تیدگی از ۱ درصد تنش نهایی کابل تا ۹۵ درصد مطابق شکل (۱۳) می‌باشد. همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش در مقادیر نیروی پیش‌تیدگی و لحاظ نمودن وزن کابل‌ها، میزان فرکانس سازه روند افزایشی دارد. به منظور بررسی تغییرات فرکانس سازه با تغییرات در قطر کابل مطابق شکل (۱۴) و با فرض نیروی پیش‌تیدگی معادل ۱۰ درصد تنش نهایی کابل مثال ۱ مورد بررسی قرار می‌گیرد. با افزایش قطر کابل‌های مهاری به تناسب وزن کابل نیز روند افزایشی داشته که در این بخش، وزن کابل در معادلات سختی کابل لحاظ نمی‌شود و فرکانس سازه در حالت عدم اعمال وزن

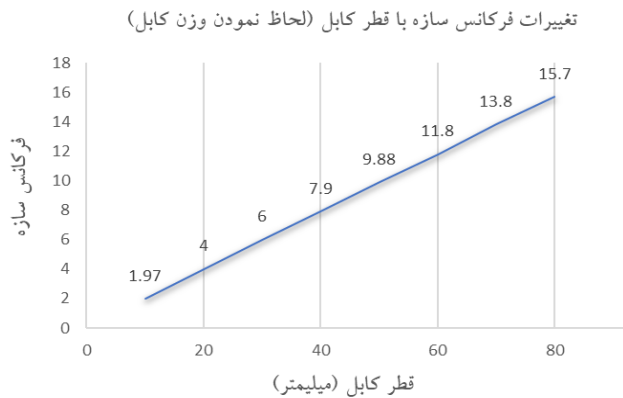


شکل ۱۰ هندسه بهینه شده (دکل ۱۲۰ متری)

مثال ۴

جهت بررسی اثرات تغییرات جرم متمرکز آنتن و جرم بر واحد طول دکل، بر میزان تغییرات فرکانس ارتعاشی سیستم، دکل ۱۲۰ متری با ۸ عدد کابل در ارتفاع و در هر طرف با قطر ۳ سانتی‌متر بررسی می‌شود.

برای بررسی اثرات تغییر در جرم متمرکز بالای دکل مقادیر وزن واحد طول سازه دکل ۲۵ کیلوگرم بر متر طول فرض می‌گردد. همچنین جهت بررسی تغییرات فرکانس با تغییرات وزن واحد سازه دکل، جرم متمرکز آنتن نیز ۱۰۰ کیلوگرم در معادلات لحاظ می‌گردد. نتایج تحلیل تغییرات جرم متمرکز مطابق شکل (۱۱) و تغییرات جرم واحد سازه دکل مطابق شکل (۱۲) می‌باشد. مطابق با نمودارها مشخص می‌گردد با افزایش جرم متمرکز آنتن، فرکانس ارتعاشی سیستم کاهش ولی آثار کاهشی فرکانس به تغییرات در جرم متمرکز آنتن محسوس نمی‌باشد. البته به دلیل اینکه در معادلات ارتعاش سیستم دکل عمودی با رفتار صلب فرض شده است، تغییرات فرکانس قابل توجه نمی‌باشد. با تغییرات در جرم واحد دکل و با ثابت بودن جرم متمرکز در رأس دکل، تغییرات فرکانس سازه به تغییرات جرم واحد طول سازه دکل قابل توجه می‌باشد. با افزایش جرم واحد طول دکل، میزان فرکانس سیستم به شدت کاهش می‌یابد. اگر طراح، بخش برج دکل را سبک‌تر طراحی نماید فرکانس سیستم افزایش قابل توجه خواهد داشت.



شکل ۱۵ تغییرات فرکانس طبیعی سیستم بر حسب تغییرات قطر کابل در شرایط اعمال وزن کابل

نتیجه گیری

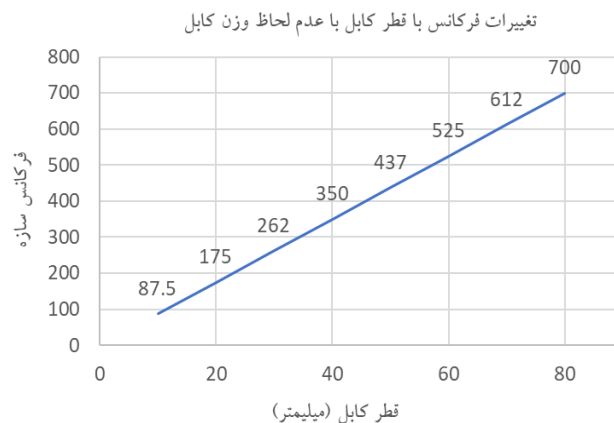
در این پژوهش، بهینه سازی زاویه کابل های دکل مهاری توسط الگوریتم های ژنتیک، کرم شب تاب و ازدحام ذرات در ۵ مثال با تابع هدف افزایش فرکانس سازه، مورد مطالعه قرار گرفت. در مثال اول، دکل مهاری در شرایط معادل سازی رفتار کابل با فنر ایدئال و در سه حالت شامل پیش تنیدگی کافی کابل ها و عدم حذف فنرهای معادل، حالت دوم نیز با حذف یکی از فنرهای معادل به دلیل نیروی فشاری داخل کابل، حالت سوم با استفاده از رابطه (۱۶) جهت اعمال اثرات پیش تنیدگی و وزن کابل در رفتار فنر معادل می باشد. در مثال دوم مشخصات سازه ای مطابق با مثال اول، با استفاده از رابطه (۱۶) و لحاظ نمودن سختی جانبی کابل ها، و افزایش در تعداد ترازهای مهار دکل مثال ۱ مقادیر تغییرات فرکانس سازه مورد بررسی قرار می گیرد. در مثال ۳ تغییرات فرکانس سازه دکل مهاری در ارتفاع مختلف دکل مورد مقایسه قرار می گیرد. جهت بررسی اثرات تغییرات جرم متمرکز آنتن و جرم بر واحد طول دکل، مثال ۴ برای دکل با ارتفاع ۱۲۰مورد بررسی قرار می گیرد. در مثال ۵ نیز تغییرات فرکانس سازه برای مشخصات مثال ۱ با تغییرات در مقادیر نیروی پیش تنیدگی کابل های مهاری، همچنین تغییرات قطر کابل مهاری در حالت لحاظ نمودن وزن کابل ها و عدم لحاظ آن مورد بررسی قرار گرفت. نتایج به صورت زیر خلاصه می شود.

(۱) اگر هدف اصلی در طراحی چنین سازه ها تعیین زاویه بهینه کابل های پیش تنیده باشد برای تمام حالت های دکل مهاری، با فرض عدم محدودیت اجرایی، زاویه ۷۵ درجه پیشنهاد می شود.

کابل ها در شرایط بهینه به دست می آید. با عدم لحاظ وزن کابل ها، افزایش قابل توجه در مقادیر فرکانس سازه مشاهده می شود. از روی نمودار قابل مشاهده است که با ۲ برابر شدن قطر کابل ها فرکانس سازه نیز حدود ۲ برابر حالت قبلی افزایش یافته است.



شکل ۱۳ تغییرات فرکانس طبیعی سیستم بر حسب تغییرات مقادیر نیروی پیش تنیدگی کابل به صورت درصدی از تنش نهایی کابل



شکل ۱۴ تغییرات فرکانس طبیعی سیستم بر حسب تغییرات قطر کابل در شرایط عدم لحاظ نمودن وزن کابل

مطابق شکل (۱۵) با افزایش قطر کابل های مهاری به تناسب سختی جانبی سازه افزایش و با لحاظ نمودن وزن کابل و طول واقعی کابل در معادلات سختی جانبی، فرکانس سازه کاهش حدود ۴۳ برابری نسبت به حالت بدون لحاظ وزن واقعی کابل با طول کابل را خواهد داشت.

- (۲) با افزایش تعداد مهارهای سازه دکل، مقادیر فرکانس ارتعاشی سیستم دکل افزایش می‌یابد. مطابق با نتایج، با افزایش ۶ برابری تعداد کابل‌های مهاری، میزان فرکانس ارتعاش سیستم دو برابر می‌شود.
- (۳) برای دکل مهار شده با یک کابل، بیشترین فرکانس ارتعاشی سیستم در حالت بدون اثر پیش‌تندگی و لحاظ وزن کابل‌ها، ۳۵ درجه با افق و در شرایط اعمال نیروی پیش‌تندگی، مقادیر زاویه بهینه برابر ۷۵ درجه می‌شود.
- (۴) با کاهش جرم متمرکز در رأس دکل، افزایش فرکانس طبیعی سیستم صورت می‌گیرد ولی مقادیر این افزایش قابل توجه نمی‌باشد.
- (۵) اقتصادی‌ترین روش افزایش فرکانس طبیعی سیستم سازه دکل، سبک‌سازی و کاهش جرم واحد طول سازه خرابایی دکل می‌باشد.
- (۶) با مقایسه الگوریتم‌ها مشاهده می‌شود که الگوریتم کرم شب-تاب سرعت همگرایی بیشتری نسبت به سایر الگوریتم‌ها داشته و با انحراف از معیار کمتر، نشان از پایداری پاسخ‌های قابل قبول الگوریتم می‌باشد.
- (۷) با افزایش ارتفاع دکل، مقادیر فرکانس ارتعاشی سیستم دکل مهاری روند کاهشی را نشان می‌دهد.
- (۸) با افزایش تعداد متغیرهای بهینه‌سازی، کارایی الگوریتم ازدحام ذرات کمتر ولی الگوریتم کرم شب‌تاب در تعداد تکرار کمتری به پاسخ بهینه همگرا می‌شود.
- (۹) با استفاده از رابطه شماره (۱۶) مقادیر سختی جانبی کابل نسبت به حالت فنر ایدئال کاهش قابل توجه داشته و مطابق نمودار شکل (۱۳) با افزایش در مقادیر نیروی پیش‌تندگی، روند افزایش فرکانس سازه قابل توجه بوده و با ۴ برابر شدن مقادیر نیروی پیش‌تندگی کابل، فرکانس سازه حدود ۲ برابر افزایش می‌یابد.
- (۱۰) مقادیر فرکانس سازه دکل مهاری در شرایط عدم لحاظ وزن کابل، بیش از ۴۰ برابر حالت لحاظ نمودن وزن واقعی کابل در مقادیر پیش‌تندگی حدود ۱۰ درصد تنش نهایی کابل برای دکل با مشخصات مثال ۱ می‌باشد.

سپاسگزاری

مراجع

- [1] Bell, Lansford C., and Daniel M. Brown, "Guyed tower optimization", *Computers & Structures* 6, No. 6, (1976). [https://doi.org/10.1016/0045-7949\(76\)90038-9](https://doi.org/10.1016/0045-7949(76)90038-9).
- [2] C. Gantes, R. Khoury, J.J. Connor, C. Pouangare, "Modeling, loading, and preliminary design considerations for tall guyed towers", *Computers & Structures*, pp. 797-805, (1993). [https://doi.org/10.1016/0045-7949\(93\)90027-B](https://doi.org/10.1016/0045-7949(93)90027-B).
- [3] K.S. Madugula, *Dynamic Response of Lattice Towers and Guyed Masts*. ASCE Publications, (2001).
- [4] A. Rooshenas, M. Barghian, Seismic behavior of cable braces strengthened with a central steel plate. *Numerical Methods in Civil Engineering*, vol.6 no.4 Pp. 47-58, (2022). <https://doi.org/10.52547/nmce.6.4.47>
- [5] G. Saudi, "Structural assessment of a guyed mast through measurement of natural frequencies", *Engineering Structures*, vol.59, Pp. 104-112, (2014). <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2013.09.049>
- [6] P. Harikrishna, A. Annadurai, S. Gomathinayagam, N. Lakshmanan,, "Full scale measurements of the structural response of a 50 m guyed mast under wind loading", *Engineering structures*, vol.25, no. 7,Pp. 859-867, (2003). [https://doi.org/10.1016/S0141-0296\(03\)00005-1](https://doi.org/10.1016/S0141-0296(03)00005-1).
- [7] J. Ballaben, M. Rosales, "Nonlinear dynamic analysis of a 3D guyed mast", *Nonlinear Dynamics*, vol.93, Pp. 1395-1405, (2018). <https://doi.org/10.1007/s11071-018-4267-1>.
- [8] A. Luzardo, P. Vivian, P. Rodríguez, "Guy tension influence on the structural behavior of a guyed mast", *International Association for Shell and Spatial Structures (IASS)*. Vol.53, No. 2, Pp. 111-116, (2012).

- [9] B. Błachowski, "Model based predictive control of guyed mast vibration", *Journal of Theoretical and Applied Mechanics*, vol.45, No. 2, Pp. 405-423, (2007).
- [10] M. Mohammadnejad, H. Haji Kazemi, "Dynamic response analysis of tall buildings under axial force effects", *Journal of Ferdowsi Civil Engineering*, vol.31, No. 2, Pp. 41-56, (2018). <https://doi.org/10.22067/civil.v31i2.56550>
- [11] M. Pezo, V. Bakic, "Numerical determination of drag coefficient for guyed mast exposed to wind action", *Engineering Structures*, vol. 62–63, Pp. 98-104, (2014). <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2014.01.025>
- [12] AL Materazzi, I Venanzi, "Optimal design of a cable-stayed mast exposed to turbulent wind", In *Proceedings of the 9th International Conference on Structural Safety and Reliability*, Rotterdam (2005).
- [13] J. Goldberg, T. Gaunt, "Stability of guyed towers", *Journal of the Structural Division*, vol.99, No. 4, Pp. 741-756, (1973). <https://doi.org/10.1061/JSDEAG.0003490>
- [14] R. Cucuzza, M. Rosso, A. Aloisio, J. Melchiorre, M. Giudice, G. Marano. "Size and Shape Optimization of a Guyed Mast Structure under Wind, Ice and Seismic Loading.", *Applied Sciences*, vol.12, no.10, Pp. 4875, (2022). <https://doi.org/10.3390/app12104875>
- [15] R. Belevičius, D. Jatulis, D. Rusakevičius, D. Mačiūnas, "Optimal schemes for tall guyed telecommunication masts", In *Proceedings of The Fifteenth International Conference on Civil, Structural and Environmental Engineering Computing. Civil-Comp Press*, Prague, Czech Republic, (2015). <https://doi.org/10.1155/2017/4561376>
- [16] S. Sivanandam, S. Deepa, *Genetic algorithms*. Springer Berlin Heidelberg, (2008). [E-book] Available: Safari e-book. https://doi.org/10.1007/978-3-540-73190-0_2
- [17] A. Banaei, J. Alamatian, "Minimizing Multivariate Objective Function Using Improved Genetic Algorithms in Active Control of Oscillation of Structures", *Journal of Ferdowsi Civil Engineering*. Vol.31, No. 4, Pp.21-40, (2019). <https://doi.org/10.22067/civil.v31i4.61547>
- [18] M. Mitchell, "An introduction to genetic algorithms", A Bradford Book The MIT Press. Cambridge, Massachusetts• London, England. Fifth printing. [GS SEARCH] (1999).
- [19] R. Perez, K. Behdinan, "Particle swarm approach for structural design optimization", *Computers & Structures*, Vol.85, No. 19-20, Pp. 1579-1588, (2007). <https://doi.org/10.1016/j.compstruc.2006.10.013>
- [20] X. Yang, " Firefly algorithm, stochastic test functions and design optimisation", *International journal of bio-inspired computation*, Vol.2, No. 2, Pp 78-84, (2010). <https://doi.org/10.1504/IJBIC.2010.032124>
- [21] CAC. Coello, "Theoretical and numerical constraint-handling techniques used with evolutionary algorithms: a survey of the state of the art", *Computer methods in applied mechanics and engineering*, Vol. 191, No. 11-12, Pp. 1245-1287, (2002). [https://doi.org/10.1016/S0045-7825\(01\)00323-1](https://doi.org/10.1016/S0045-7825(01)00323-1).
- [22] G. Margariti, C. Gantes, "Linear and nonlinear buckling response and imperfection sensitivity of cable-stayed masts and pylons. "Structural Engineering International, Vol.25, no.1, Pp.43-49, (2015). <https://doi.org/10.2749/101686614X14043795570255>

CONTENTS

Spatial Assessment of Land Surface Temperature Trends in Different Climates of Khorasan Razavi Province Using Aqua Satellite Imagery (From 2003 to 2023)	1
Mojtaba Goldani - Hossein Etemadfard - Ali Rezaei	
Non-Linear Strut and Tie Modelling Approach of Retrofitted Reinforced Concrete Beam Column Joint by Prestress Joint Enlargement	13
S. Ahmad Nezami - Jalil Shafaei	
Designing the Policy Making Model of Municipal Urban Services with a Qualitative-Quantitative Approach	41
Morteza Sharifi - Hassan Amiri - Mahmoud Modiri - Farzaneh Beigzadeh	
The Effect of the Method of Using Waste Carbonate Cake on the Compressive and Tensile Strengths of Green Concrete	61
Zahra Heydari - Rasoul Shadnia - Davood Mostofinejad - Shadzi Rezaei	
A Model to Evaluate the Physical Characteristics and Uses Transport Network in Dense Urban Structures with Emphasis on the Development of Sustainable Transport	77
Rezvan Babagoli - Morteza Mohammadzadeh - Mohsen Amouzadeh Omrani	
Determination of Optimal Position of Cables in Guyed Masts by Using Meta-Heuristic Algorithms	93
Houshyar Eimani Kalehsar - Amirreza Esmaeile Aghdam	



**JOURNAL OF
CIVIL ENGINEERING
FERDOWSI UNIVERSITY OF MASHHAD**

ISSN 2008-7454

General Director: F. Irani
Editor-Chief: M. R. Esfahani
Published: Ferdowsi University of Mashhad

Editorial Board:

M. Reza Esfahani	Professor, Ferdowsi University of Mashhad
K. badv	Professor, Urmia University
J. Bolouri Bazaz	Associate Professor, Ferdowsi University of Mashhad
A. Pouya	Professor, Ecole des Ponts Paris tech
S. H. Mohammadzadeh	Professor, Ferdowsi University of Mashhad
E. Seyedi Hosseininia	Associate Professor, Ferdowsi University of Mashhad
Gh. Rakhshandehro	Professor, Shiraz University
M. H. Sebt	Professor, Amirkabir University of Technology
F. Shahabian Moghadam	Professor, Ferdowsi University of Mashhad
A. Kavussi	Professor, Tarbiat Modares University
S. M. Karrabi	Associate Professor, Ferdowsi University of Mashhad
H. Ganji Doost	Professor, Tarbiat Modares University
M. Faghfour Maghrebi	Professor, Ferdowsi University of Mashhad
M. Maghrebi	Associate Professor, Ferdowsi University of Mashhad
F. Moghadas Nejad	Professor, Amirkabir University of Technology
A. Mohammadzadeh Moghaddam	Associate Professor, Ferdowsi University of Mashhad
M. Kianoush	Professor, Toronto Metropolitan University

Text Editor: M. Dehghan

Administrative Director: T. Hooshmand

Typist: A. Noie – T. Hooshmand

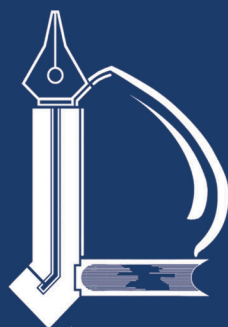
Journal of Civil Engineering

Department of Civil Engineering, Ferdowsi University of Mashhad.

P. O. Box. 91775-1111, Mashhad, I.R.IRAN

Tel: +98 51 38806024; **Email:** civil-ferdowsi@um.ac.ir

Web site: <http://civil-ferdowsi.um.ac.ir>



**Ferdowsi University
of Mashhad**

Journal of Ferdowsi Civil Engineering

Serial No. 47

ISSN 2783-2805

Spatial Assessment of Land Surface Temperature Trends in Different Climates of Khorasan Razavi Province Using Aqua Satellite Imagery From 2003 to 2023 Mojtaba Goldani - Hossein Etemadfar - Ali Rezaei	1
Non-Linear Strut and Tie Modelling Approach of Retrofitted Reinforced Concrete Beam Column Joint by Prestress Joint Enlargement S. Ahmad Nezami - Jalil Shafaei	13
Designing the Policy Making Model of Municipal Urban Services with a Qualitative-Quantitative Approach Morteza Sharifi - Hassan Amiri - Mahmoud Modiri Farzaneh Beigzadeh	41
The Effect of the Method of Using Waste Carbonate Cake on the Compressive and Tensile Strengths of Green Concrete Zahra Heydari - Rasoul Shadnia - Davood Mostofinejad Shadzi Rezaei	61
A Model to Evaluate the Physical Characteristics and Uses Transport Network in Dense Urban Structures with Emphasis on the Development of Sustainable Transport Rezvan Babagoli - Morteza Mohammadzadeh Mohsen Amouzadeh Omrani	77
Determination of Optimal Position of Cables in Guyed Masts by Using Meta-Heuristic Algorithms Houshyar Eimani Kalehsar - Amirreza Esmaeile Aghdam	93

Vol. 37, No. 3
Autumn, 2024